

# Aandrijftechniek Moonrover

Vollmuller, Michel  
1809572

Willems, Tijmen  
1805057

michel.vollmuller@student.hu.nl

tijmen.willems@student.hu.nl

28 maart 2024

## Samenvatting

Dit onderzoek richt zich op de aandrijftechniek van een moonrover, waarbij verschillende aspecten worden geanalyseerd om de juiste motor en transmissie te selecteren. De paper behandelt de vastgestelde lasten van de moonrover, zoals de rolweerstand, hellingen, grip, versnelling en snelheid. Vervolgens wordt de motorkeuze besproken, waarbij de RE25 118745 motor wordt geselecteerd vanwege zijn efficiëntie van 90%. Een geschikte transmissie, de Planetary Gearhead GP 32 A 166158 met een gear ratio van 14:1 en een efficiëntie van 75%, wordt gekozen om het maximale koppel te behalen met minder toeren. De paper gaat verder in op de efficiëntie van de motor en transmissie, waarbij een totale efficiëntie van 67,5% wordt berekend. Tot slot wordt de warmtedissipatie behandeld, waarbij de leverancier Maxon aangeeft dat de gekozen motor geschikt zal zijn voor maancondities. Dit onderzoek biedt inzicht in het selectieproces van de aandrijftechniek voor een moonrover, met aandacht voor efficiëntie en prestaties onder verschillende omstandigheden.

## Inhoudsopgave

<b>1 Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2 Analyse</b>	<b>2</b>
2.1 Vraagstelling	2
2.2 Specificaties	2
<b>3 Lasten</b>	<b>3</b>
3.1 Rollast	3
3.2 Hellingslast	3
3.3 Grip	4
3.4 Versnelling	5
3.5 Snelheid	5
3.6 Conclusie	6
<b>4 Motor</b>	<b>7</b>
4.1 Motorkeuze	7
4.2 transmissiekeuze	8
4.3 efficiëntie	8
4.4 Warmtedisipatie	9
<b>Conclusie</b>	<b>10</b>
Aanbevelingen	10
<b>Referenties</b>	<b>11</b>
<b>A Datasheet RE25 118745</b>	<b>12</b>
<b>B Datasheet GP 32 A 166158</b>	<b>13</b>

# 1 Inleiding

De Euro Moon Rover is een compact, wendbaar voertuig ontworpen voor het verkennen van het maanterrein. Met zijn vier individueel aangestuurde wielen kan het obstakels tot de grootte van de radius van het wiel overwinnen. Het voertuig is snel en robuust, uitgerust met gelijkstroommotoren van Maxon die zijn aangepast om te functioneren in de extreme omstandigheden van de maan. Dankzij zijn ontwerp en aanpassingen is de Euro Moon Rover goed uitgerust om wetenschappelijke missies uit te voeren en het oppervlak van de maan te verkennen.

## 2 Analyse

### 2.1 Vraagstelling

**Hoofdvraag:** Is de door Maxon voorgestelde aandrijving de beste oplossing voor de Euro Moon Rover?

**Deelvragen:**

1. Wat zijn de lasten en wat zijn de wensen?
2. Wat is de juiste mechanische transmissie?
3. Wat zijn de juiste specificaties voor de motor?
4. Wat is de efficiëntie van de motor?

### 2.2 Specificaties

#### Moonrover

Gewicht : 6 kg

formaat (lengte\*breedte): 40 \* 25 cm

#### Wielen

diameter wielen : 15 cm

wrijvingscoëfficiënt : 0.9

rolweerstandcoëfficiënt : 0.1

Massatraagheid (J) :  $2.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

#### Eisen / Wensen

topsnelheid vlakke grond :  $2.1 \text{ m/s}$

versnelling vlakke grond :  $0.7 \text{ m/s}^2$

vertraging vlakke grond :  $0.5 \text{ m/s}^2$

max helling : 30 graden

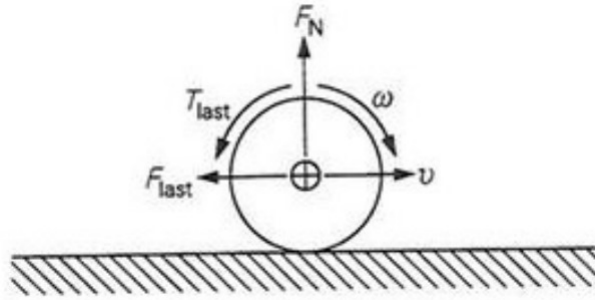
[1]

### 3 Lasten

In dit hoofdstuk worden de verschillende lasten van de moonrover berekend. In de formules word er een hellingshoek aangehouden van 0 graden. De beschreven formules zijn allemaal voor 1 wiel. Voor de gehele moonrover zal dit dus x4 moeten. In de afbeeldingen is ook te zien hoe de eigenschappen zich gedragen onder diverse hellingshoeken.

#### 3.1 Rollast

Rollast is de last die minimaal overwonnen moet worden om een wiel te laten draaien. Dit verschilt ook onder welke hellingshoek de moonrover staat. In afbeelding 3 is te zien hoe de rollast verandert onder diverse hellingshoeken.



Figuur 1: rollast krachten

**Formules:**

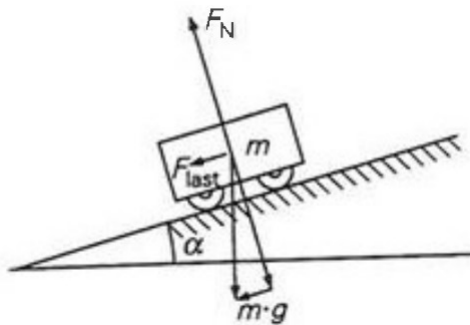
$$\begin{aligned} T_{last} &= f_{rol} \cdot F_N \cdot r \\ F_N &= m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \\ \Downarrow \\ T_{last} &= 0.1 \cdot 2.43 \cdot 0.075 = 18.23[mNm] \end{aligned} \quad (1)$$

**constante:**

$$\begin{aligned} f_{rol} &= 0,1 \\ r &= 0,075[m] \\ m &= 1,5[N] \\ g &= 1,62[m/s^2] \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$

#### 3.2 Hellingslast

Hellingslast is de last die om de hoek komt kijken zodra de moonrover zich op een helling bevindt. We hebben de kracht berekend die nodig is om de moonrover stil te laten staan onder een bepaalde hoek.



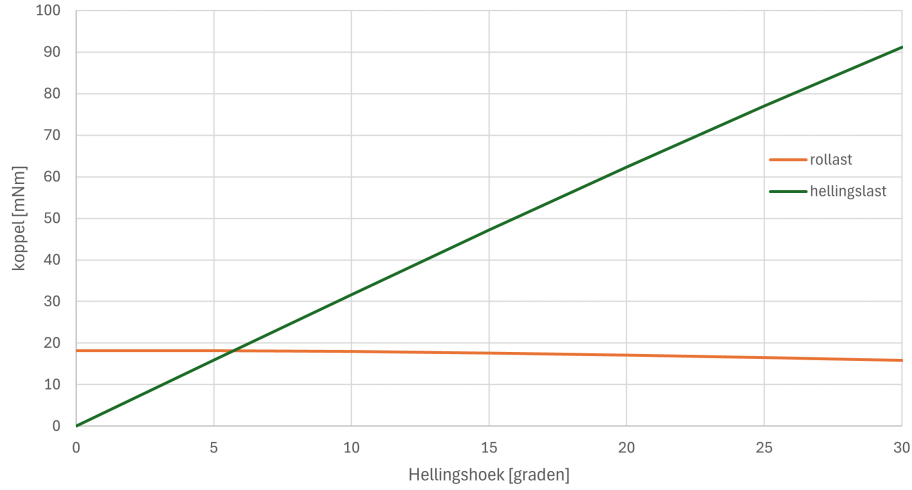
Figuur 2: hellinglast krachten

**Formules:**

$$\begin{aligned} T_{last} &= f_Z \cdot \sin(\alpha) \cdot r \\ F_Z &= m \cdot g \\ \Downarrow \\ T_{last} &= 2.43 \cdot 0 \cdot 0.075 = 0[mNm] \end{aligned} \quad (2)$$

**constante:**

$$\begin{aligned} r &= 0,075[m] \\ m &= 1,5[N] \\ g &= 1,62[m/s^2] \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$



Figuur 3: rolweerstand vs hellingsweerstand onder verschillende hoeken

In figuur 3 is te zien hoe de rolweerstand en de hellingsweerstand zich gedragen ten opzichte van verschillende hellingshoeken. In de grafiek is te zien dat vanaf een hoek van  $5.72^\circ$  de moonrover altijd stil zal blijven staan. Dit komt doordat de moonrover tot dit punt nog niet voorbij zijn rollast komt. Het snijpunt van de rollast met de hellingslast wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned}
 T_{rollast} &= T_{hellingslast} \\
 f_{rol} \cdot F_N \cdot r &= F_N \cdot \sin(\alpha) \cdot r \\
 f_{rol} &= \sin(\alpha) \\
 0.1 &= \sin(\alpha) \\
 \alpha &= \sin^{-1}(0.1) \\
 \alpha &= 5.72^\circ
 \end{aligned} \tag{3}$$

### 3.3 Grip

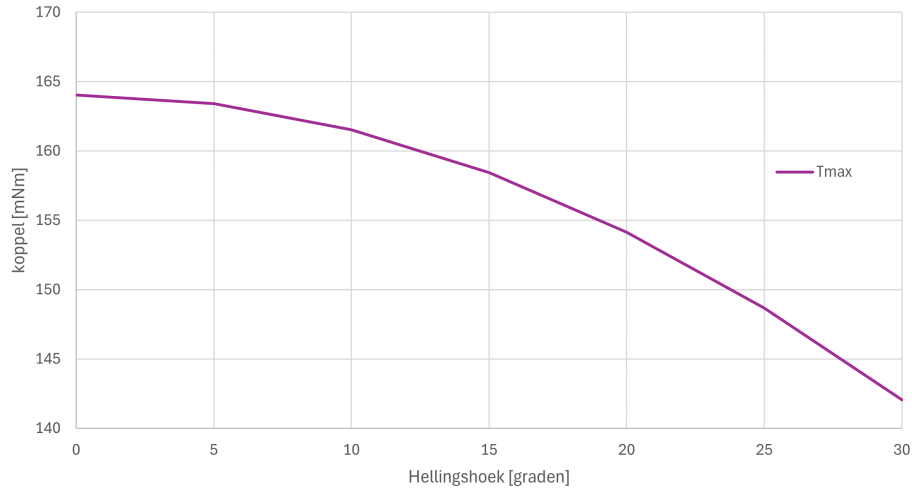
Onder grip verstaan we de hoeveelheid koppel die op de aandrijving gegeven kan worden zonder dat het wiel zal gaan slippen. Hierbij berekenen we dus ook wat het maximale koppel is die gegeven kan worden op de aandrijving.

**Formules:**

$$\begin{aligned}
 T_{max} &= \mu \omega \cdot F_N \cdot r \\
 F_N &= m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \\
 \Downarrow \\
 T_{max} &= 0.9 \cdot 2.43 \cdot 0.075 = 164.03 [mNm]
 \end{aligned} \tag{4}$$

**constante:**

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0.9 \\
 r &= 0.075 [m] \\
 m &= 1.5 [N] \\
 g &= 1.62 [m/s^2] \\
 \alpha &= 0^\circ
 \end{aligned}$$



Figuur 4:  $T_{max}$

In figuur 4 is te zien hoe de maximale koppel zich weerhoud tegen de hellingshoek. Hierbij is duidelijk te zien dat de maximale koppel af neemt naarmate de hellingshoek groter wordt.

### 3.4 Versnelling

Hier wordt het koppeloverschot berkent wat nodig is om de beoogde versnelling te behalen.

**Formules:**

$$\begin{aligned}
 T_{acc} &= J \cdot \frac{d\omega}{dt} \\
 omtrek_{wiel} &= 2 \cdot \pi \cdot r = 0.47[m] \\
 Versnelling &= \frac{a}{omtrek_{wiel}} = 1.49[omwentelingen/s^2] \\
 &= 9.36[rad/s^2] \\
 &\Downarrow \\
 T_{acc} &= 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot 9.36 = 19.6[mNm]
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

**constante:**

$$\begin{aligned}
 a &= 0.7[m/s^2] \\
 J &= 2.1 \cdot 10^{-3}[kg \cdot m^2] \\
 r &= 0.075[m] \\
 m &= 1.5[N] \\
 g &= 1.62[m/s^2] \\
 \alpha &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

### 3.5 Snelheid

Hier berkenen we de maximale rpm waarbij de maximale snelheid van van 2.1 m/s niet word overtroffen.

**Formules:**

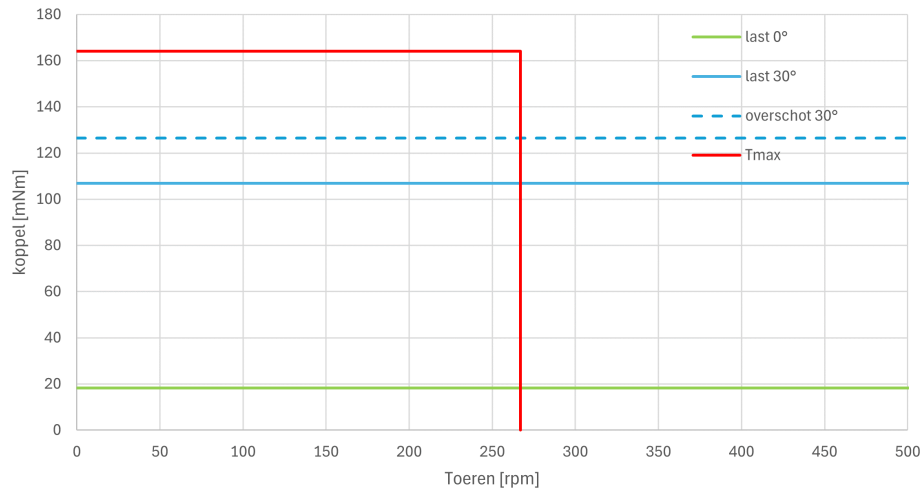
$$\begin{aligned}
 omtrek &= 2 \cdot \pi \cdot r \\
 snelheid &= \frac{speed_{max}}{omtrek} = \frac{2.1}{0.47} = 4.46[omw/s] \\
 &\Downarrow \\
 &= 267.4[rpm]
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

**constante:**

$$\begin{aligned}
 speed_{max} &= 2.1[m/s] \\
 r &= 0.075[m]
 \end{aligned}$$

### 3.6 Conclusie

In dit hoofdstuk heb je kunnen lezen hoe we de lasten van de moonrover hebben bepaald. Dit was nodig om een geschikte motor te kunnen selecteren voor de moonrover. In afbeelding 5 is het werkgebied te zien van de moonrover doormiddel van de rode lijnen. In het volgende hoofdstuk zal er een geschikte motor en transmissie geselecteerd worden die juist aansluit bij deze last.



Figuur 5: Lasten moonrover

## 4 Motor

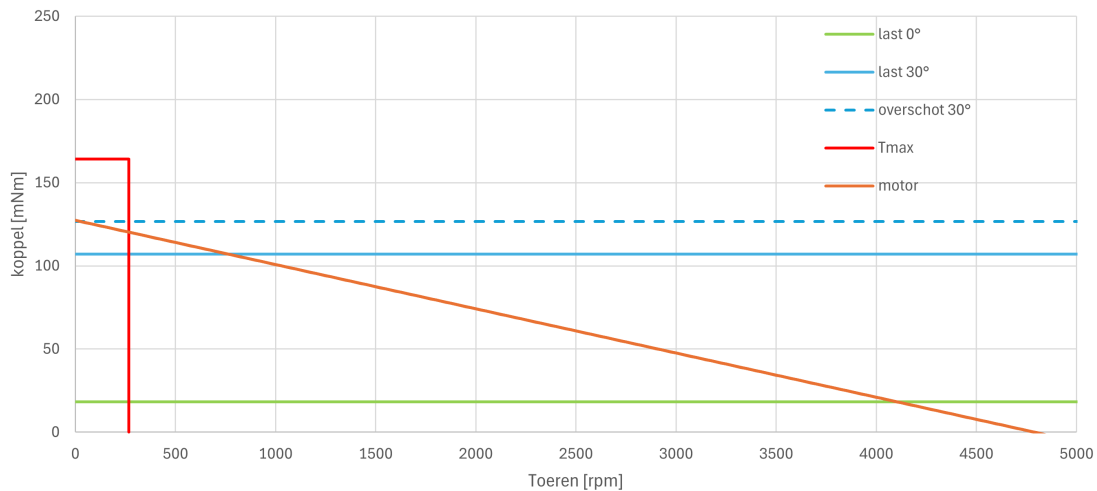
In het vorige hoofdstuk is zijn de lasten van de moonrover bepaald. Op basis van deze gegevens kunnen we de juiste motor gaan selecteren voor de moonrover. Door de leverancier 'Maxon' is er een advies gedaan van een reeks motoren en transmissies;

*motor :RE251187xx*  
*transmissie :PlanetaryGearheadGPxxx*

In dit hoofdstuk zullen wij een keuze gaan maken voor een specifieke motor in combinatie met een specifieke transmissie.

### 4.1 Motorkeuze

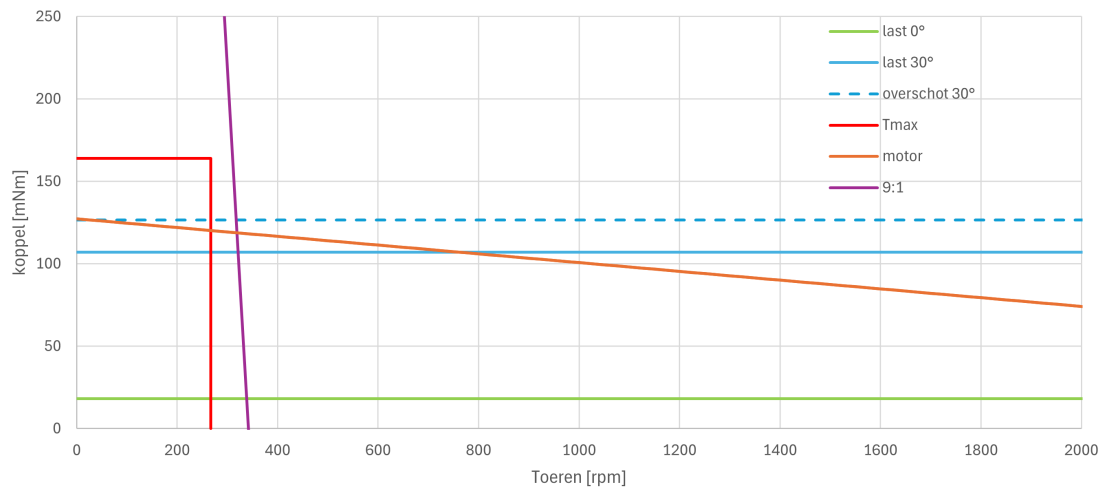
Binnen de aangegeven maxon reeks hebben wij gekozen voor de RE25 118745. In theorie is het mogelijk om elke motor te kiezen binnen de aangegeven reeks in combinatie met de juiste transmissie. Voor deze specifieke situatie hebben we gekozen voor de RE25 118745. Dit is een wat kleinere motor binnen de reeks, echter is het mooie van deze motor dat hij een efficiëntie van 90% heeft. In afbeelding 6 is te zien hoe de koppel-toerenkarakteristiek van de motor zich weerhoud tegen de last. In combinatie met de juiste transmissie kan deze motor goed ingezet worden bij de moonrover. In Bijlage A is de datasheet te zien van deze motor.



Figuur 6: koppel-toerenkarakteristiek RE25 118745

## 4.2 transmissiekeuze

In afbeelding 6 is duidelijk te zien dat een transmissie duidelijk aan te raden is voor het gebruiken van deze motor in de situatie van de moonrover. Het maximale koppel is eigenlijk aan de lage kant en zonder transmissie maakt de motor veel te veel toeren. Door gebruik te maken van een transmissie kunnen we er voor zorgen dat er meer koppel beschikbaar komt met minder toeren. Hierdoor zal de motor efficiënter gaan werken omdat hij minder torque hoeft te leveren en hij vaker rond zijn nominale toerental zal draaien. In de datasheet van de motor (bijlage A) worden er voor deze motor een aantal transmissies aangeraden binnen deze selectie en de selectie van maxon hebben wij gekozen voor de Planetary Gearhead GP 32 A 166158. Deze transmissie heeft een gear ratio van 14:1 en een efficiëntie van 75%. Met deze eigenschappen zal de koppel-toerenkarakteristiek veranderen wat te zien is in afbeelding 7 hier is duidelijk te zien dat met deze transmissie de wielen niet veel te hard kunnen draaien en dat er meer dan voldoende torque beschikbaar is voor de moonrover. Het extra koppeloverschot zorgt er ook nog voor dat de motor niet te hard hoeft te werken om de moonrover te kunnen verplaatsen.



Figuur 7: koppel-toerenkarakteristiek met GP 32 A 166158

## 4.3 efficiëntie

Hieronder wordt het vermogen berekend wat de motor opneemt bij een bepaalde hoeveelheid koppel. In afbeelding 8 te zien hoe het minimale en maximale vermogen zich weerhoudt tegen de helling waar de moonrover op rijdt. Dit is het vermogen wat in de motor gaat.

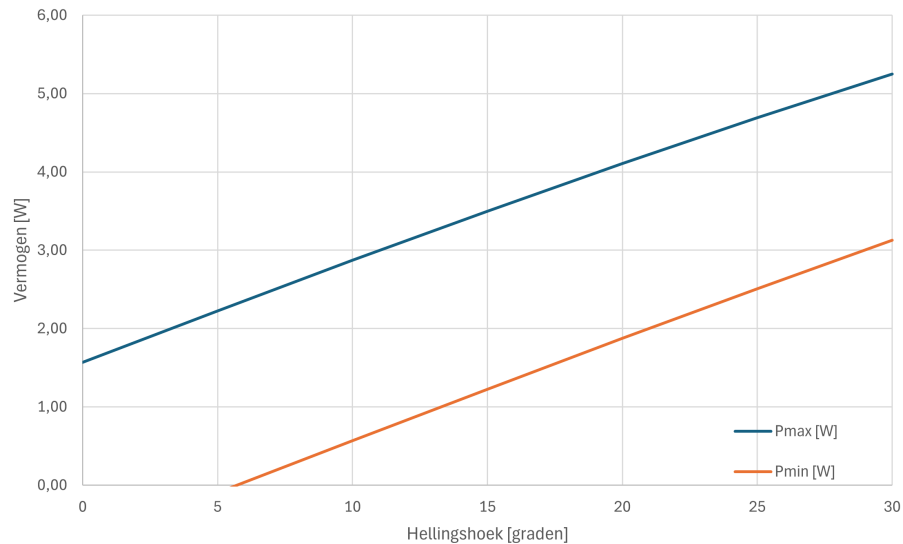
**Formules:**

$$\begin{aligned}
 P &= F \cdot v \\
 F &= \frac{T}{r} \\
 \Downarrow \\
 P &= 5.25[W]
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

**constante:**

$$\begin{aligned}
 v &= 2.1[m/s] \\
 T &= 0.1265[mNm] \\
 r &= 0.075[m]
 \end{aligned}$$





Figuur 8: vermogenskarakteristiek

De motor heeft een efficiëntie van een 90%

De transmissie heeft een efficiëntie van 75%

Samen komt dit op een totaal efficiëntie van 67,5%

Dit betekent dat er van het vermogen wat er in de motor gaat er 67,5% effectief gebruikt wordt en de rest opgaat in warmte etc.

#### 4.4 Warmtedisipatie

Voor de moonrover zullen de motoren geleverd worden van het merk Maxon. Maxon heeft aangegeven dat zij de gekozen motor "maan bestendig" zullen maken. Hierbij zal ook rekening gehouden met de temperatuur verschillen op de maan en de warmte dissipatie hiervan.

## Conclusie

Het onderzoek naar de aandrijftechniek van de moonrover heeft geleid tot de selectie van de RE25 118745 motor in combinatie met de Planetary Gearhead GP 32 A 166158 transmissie. De keuze voor deze motor is gebaseerd op zijn efficiëntie van 90%, wat gunstig is voor de prestaties van de moonrover. De transmissie is essentieel gebleken om het maximale koppel te behalen en de motor efficiënt te laten werken, gezien de specifieke vereisten van het maanoppervlak. De berekende totale efficiëntie van 67,5% benadrukt het belang van het optimaliseren van zowel de motor als de transmissie voor een effectieve aandrijving van de moonrover. Bovendien toont de aandacht voor warmtedissipatie aan dat de gekozen motor geschikt is voor de extreme omstandigheden op de maan. In conclusie biedt dit onderzoek een solide basis voor de verdere ontwikkeling en implementatie van de aandrijftechniek voor de moonrover, met een focus op efficiëntie, prestaties en betrouwbaarheid in een uitdagende omgeving.

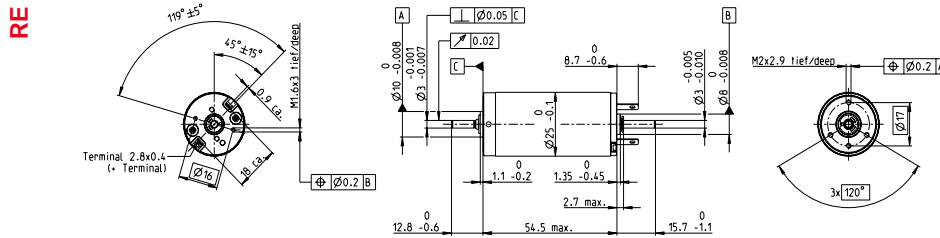
## Aanbevelingen

## Referenties

- [1] B. Bozon. [Online]. Available: <https://canvas.hu.nl/courses/39370>
- [2] Maxongroup. [Online]. Available: <https://www.maxongroup.nl/maxon/view/catalog>

# A Datasheet RE25 118745

## RE 25 Ø25 mm, precious metal brushes CLL, 10 watt

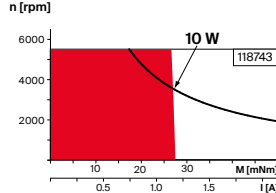


### M 1:2

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

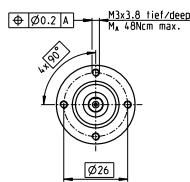
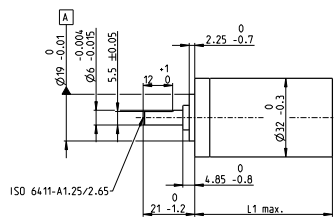
#### Part Numbers

Motor Data		118740	118741	118742	118743	118744	118745	118746	118747	118748
Values at nominal voltage										
1 Nominal voltage	V	4.5	8	9	12	15	18	24	32	48
2 No load speed	rpm	5360	5320	5230	4850	4990	4790	5190	5510	5070
3 No load current	mA	79.7	44.4	38.7	26.3	21.8	9.88	14.4	11.7	6.96
4 Nominal speed	rpm	4980	4520	4220	3800	3920	3710	4130	4450	4000
5 Nominal torque	mNm	11.4	20.9	23.9	28.6	28.2	28.7	28	27.9	27.9
6 Nominal current (max. continuous current)	A	1.5	1.5	1.5	1.24	1.01	0.811	0.652	0.516	0.317
7 Stall torque	mNm	131	132	119	129	131	126	136	144	132
8 Stall current	A	16.5	9.23	7.31	5.5	4.57	3.52	3.1	2.61	1.47
9 Max. efficiency	%	87	87	86	87	87	90	87	87	87
Characteristics										
10 Terminal resistance	Ω	0.273	0.867	1.23	2.18	3.28	5.11	7.73	12.3	32.6
11 Terminal inductance	mH	0.0275	0.0862	0.115	0.238	0.353	0.551	0.832	1.31	3.48
12 Torque constant	mNm/A	7.99	14.3	16.3	23.5	28.6	35.8	43.9	55.2	89.9
13 Speed constant	rpm/V	1200	668	584	406	334	267	217	173	106
14 Speed/torque gradient	rpm/mNm	40.9	40.5	4.4	37.7	38.3	38.2	38.3	38.5	38.6
15 Mechanical time constant	ms	4.99	4.4	4.37	4.25	4.23	4.22	4.22	4.22	4.23
16 Rotor inertia	gcm <sup>2</sup>	11.7	10.4	9.49	10.8	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5

Specifications	Operating Range	Comments
<b>Thermal data</b>		<b>Continuous operation</b> In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient. = Thermal limit.
17 Thermal resistance housing-ambient		
18 Thermal resistance winding-housing		
19 Thermal time constant winding		
20 Thermal time constant motor		
21 Ambient temperature		<b>Short term operation</b> The motor may be briefly overloaded (recurring).
22 Max. winding temperature		
		<b>Assigned power rating</b>
<b>Mechanical data (ball bearings)</b>		
23 Max. speed		
24 Axial play		
25 Radial play		
26 Max. axial load (dynamic)		
27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)		
28 Max. radial load, 5 mm from flange		
<b>Other specifications</b>	<b>Modular System</b>	<b>Details on catalog page 44</b>
29 Number of pole pairs	<b>Gear</b>	<b>Motor Control</b>
30 Number of commutator segments	416_GP 26 A	532_ESCON Module 24/2
31 Weight of motor	418_GP 32 BZ	532_ESCON 36/2 DC
CLL = Capacitor Long Life	419_GP 32 A	533_ESCON Module 50/5
Values listed in the table are nominal.	422_GP 32 C	535_ESCON 50/5
Explanation of the figures on page 90.	429_KD 32	541_EPOS4 Micro 24/5
<b>Option</b>	452-460_GP 32 S	542_EPOS4 Module 24/1.5
Preloaded ball bearings		542_EPOS4 Module 50/5
		543_EPOS4 Compact 24/5 3-axes
		544_EPOS4 Compact 24/1.5
		545_EPOS4 Compact 50/5
		547_EPOS4 50/5

## B Datasheet GP 32 A 166158

## Planetary Gearhead GP 32 A Ø32 mm, 0.75–4.5 Nm



**M 1:2**

## Technical Data

Planetary Gearhead	straight teeth				
Output shaft	stainless steel				
Shaft diameter as option	8 mm				
Bearing at output	ball bearing				
Radial play, 5 mm from flange	max. 0.14 mm				
Axial play	max. 0.4 mm				
Max. axial load (dynamic)	120 N				
Max. force for press fits	120 N				
Direction of rotation, drive to output	=				
Max. continuous input speed	6000 rpm				
Recommended temperature range	-40...+100°C				
Number of stages	1	2	3	4	5
Max. radial load, 10 mm from flange	90 N	140 N	200 N	220 N	220 N

Option: Low-noise version

**gear**

<div><div><div></div></div><div>Stock program</div></div> <div><div><div></div></div><div>Standard program</div></div> <div><div><div></div></div><div>Special program (on request)</div></div>			Part Numbers											
			166155	166158	166163	166164	166169	166174	166179	166184	166187	166192	166197	166202
Gearhead Data														
1	Reduction		3.7:1	14:1	33:1	51:1	111:1	246:1	492:1	762:1	1181:1	1972:1	2829:1	4380:1
2	Absolute reduction		$29\frac{1}{2}$	$67\frac{1}{2}$	$82\frac{1}{2}$	$175\frac{1}{2}$	$343\frac{1}{2}$	$412\frac{1}{2}$	$861\frac{1}{2}$	$1217\frac{1}{2}$	$1904\frac{1}{2}$	$3012\frac{1}{2}$	$4591\frac{1}{2}$	$7108\frac{1}{2}$
3	Max. motor shaft diameter	mm	6	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3
Part Numbers			166156	166159		166166	166170	166175	166180	166186	166193	166198	166203	
1	Reduction		4.8:1	18:1		66:1	123:1	295:1	531:1	913:1	1414:1	2189:1	3052:1	5247:1
2	Absolute reduction		24 $\frac{1}{2}$	$62\frac{1}{2}$		$162\frac{1}{2}$	$245\frac{1}{2}$	$687\frac{1}{2}$	$1016\frac{1}{2}$	$1717\frac{1}{2}$	$2650\frac{1}{2}$	$4025\frac{1}{2}$	$5867\frac{1}{2}$	$9322\frac{1}{2}$
3	Max. motor shaft diameter	mm	4	4		4	3	3	4	3	3	3	3	3
Part Numbers			166157	166160		166166	166171	166176	166181	166186	166194	166199	166204	
1	Reduction		5.8:1	21:1		79:1	132:1	318:1	589:1	1093:1	1526:1	2362:1	3389:1	6285:1
2	Absolute reduction		23 $\frac{1}{2}$	$29\frac{1}{2}$		$388\frac{1}{2}$	$49\frac{1}{2}$	$331\frac{1}{2}$	$597\frac{1}{2}$	$1023\frac{1}{2}$	$1506\frac{1}{2}$	$2268\frac{1}{2}$	$3411\frac{1}{2}$	$6436\frac{1}{2}$
3	Max. motor shaft diameter	mm	3	3		3	3	3	4	3	3	3	3	3
Part Numbers				166161		166167	166172	166177	166182		166190	166195	166200	
1	Reduction			23:1		86:1	159:1	411:1	636:1		1694:1	2548:1	3656:1	
2	Absolute reduction			$57\frac{1}{2}$		$149\frac{1}{2}$	$175\frac{1}{2}$	$158\frac{1}{2}$	$354\frac{1}{2}$		$1182\frac{1}{2}$	$1731\frac{1}{2}$	$2570\frac{1}{2}$	
3	Max. motor shaft diameter	mm		4		4	3	4	3		3	4	3	
Part Numbers				166162		166168	166173	166178	166183		166191	166196	166201	
1	Reduction			28:1		103:1	190:1	456:1	706:1		1828:1	2623:1	4060:1	
2	Absolute reduction			$139\frac{1}{2}$		$359\frac{1}{2}$	$664\frac{1}{2}$	$1581\frac{1}{2}$	$2324\frac{1}{2}$		$2238\frac{1}{2}$	$3267\frac{1}{2}$	$5031\frac{1}{2}$	
3	Max. motor shaft diameter	mm		3		3	3	4	3		3	3	3	
4	Number of stages			2	2	3	2	3	4		3	3	3	
5	Max. continuous torque	Nm	0.75	2.25	2.25	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
6	Max. intermittent torque at gear output	Nm	1.1	3.4	3.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
7	Max. efficiency	%	80	75	75	70	70	60	60	60	50	50	50	50
8	Weight	g	118	162	162	194	194	226	226	226	258	258	258	258
9	Average backlash no load	°	0.7	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	Mass inertia	gcm <sup>2</sup>	1.5	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
11	Gearhead length L1	mm	26.5	36.4	36.4	43.1	43.1	49.8	49.8	49.8	56.5	56.5	56.5	56.5



maxon Modular System													
+ Motor	Page	+ Sensor/Brake	Page	Overall length [mm] = Motor length + gearhead length + (sensor/brake) + assembly parts									
RE 25	144/146			81.1	91.0	91.0	97.7	97.7	104.4	104.4	104.4	111.1	111.1
RE 25	144/146	MR	478	92.1	102.0	102.0	108.7	108.7	115.4	115.4	115.4	122.1	122.1
RE 25	144/146	Enc. 22	495	95.2	105.1	105.1	111.8	111.8	118.5	118.5	118.5	125.2	125.2
RE 25	144/146	HED.5540	486/488	101.9	111.8	111.8	118.5	118.5	125.2	125.2	125.2	131.9	131.9
RE 25	144/146	DCT 22	495	103.4	113.3	113.3	120.0	120.0	126.7	126.7	126.7	133.4	133.4
RE 25, 20 W	145			69.6	79.5	79.5	86.2	86.2	92.9	92.9	92.9	99.6	99.6
RE 25, 20 W	145	MR	478	80.6	90.5	90.5	97.2	97.2	103.9	103.9	103.9	110.6	110.6
RE 25, 20 W	145	HED.5540	487/490	90.4	100.3	100.3	107.0	107.0	113.7	113.7	113.7	120.4	120.4
RE 25, 20 W	145	DCT 22	495	91.9	101.8	101.8	108.5	108.5	115.2	115.2	115.2	121.9	121.9
RE 25, 20 W	145	AB 28	535	103.7	113.6	113.6	120.3	120.3	127.0	127.0	127.0	133.7	133.7
RE 25, 20 W	145	HED.5540/AB 28	487/535	102.9	130.8	130.8	137.5	137.5	144.2	144.2	144.2	150.9	150.9
RE 25, 20 W	146	AB 28	535	115.2	125.1	125.1	131.8	131.8	138.5	138.5	138.5	145.2	145.2
RE 25, 20 W	146	HED.5540/AB 28	486/535	124.2	142.3	142.3	149.0	149.0	155.7	155.7	155.7	162.4	162.4
RE 30, 15 W	147			94.6	104.5	104.5	111.2	111.2	117.9	117.9	117.9	124.6	124.6
RE 30, 15 W	147	MR	479	106.0	115.9	115.9	122.6	122.6	129.3	129.3	129.3	136.0	136.0
RE 30, 15 W	147	HED.5540	486/488	115.4	125.3	125.3	132.0	132.0	138.7	138.7	138.7	145.4	145.4
RE 30, 60 W	148			94.6	104.5	104.5	111.2	111.2	117.9	117.9	117.9	124.6	124.6
RE 30, 60 W	148	MR	479	106.0	115.9	115.9	122.6	122.6	129.3	129.3	129.3	136.0	136.0
RE 30, 60 W	148	HED.5540	486/488	115.4	125.3	125.3	132.0	132.0	138.7	138.7	138.7	145.4	145.4
RE 35, 90 W	149			97.6	107.5	107.5	114.2	114.2	120.9	120.9	120.9	127.6	127.6
RE 35, 90 W	149	MR	479	109.0	118.9	118.9	125.6	125.6	132.3	132.3	132.3	139.0	139.0
RE 35, 90 W	149	HED.5540	486/488	118.3	128.2	128.2	134.9	134.9	141.6	141.6	141.6	148.3	148.3
RE 35, 90 W	149	DCT 22	495	115.7	125.6	125.6	132.3	132.3	139.0	139.0	139.0	145.7	145.7
RE 35, 90 W	149	AB 28	535	133.7	143.6	143.6	150.3	150.3	157.0	157.0	157.0	163.7	163.7
RE 35, 90 W	149	HEDS 5540/AB 28	486/535	150.9	160.8	160.8	167.5	167.5	174.2	174.2	174.2	180.9	180.9

March 2021 edition / subject to change

maxon gear 393