

Aandrijftechniek Euro Moon Rover Casus

Jelmer Hemstra, 1810225, Flint Wardenaar, 1771881

29 maart 2024

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Analyse	3
2.1	Onderzoeksvragen	3
2.2	Eisen	3
2.3	Gegevens	3
3	Onderzoek	3
3.1	Statische last	4
3.2	Dynamische last	4
3.3	Meest voorkomende last	5
4	Resultaten	6
4.1	last	6
4.2	Motor	6
4.3	gearbox	6
5	Advies	7

Samenvatting

In dit document wordt de casus van de aandrijftechniek van de moonnrover behandeld. Voor deze casus schrijven wij een adviesrapport voor de keuze van de motor en gearbox.

1 Inleiding

In dit document wordt de casus van de aandrijftechniek van de rover behandeld.

2 Analyse

2.1 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag:

Welke combinatie van motor en overbrenging, van de familie “RE25 1187xx” en “Planetary Gearhead GP xx xx” respectievelijk, is het meest geschikt als aandrijving van de “Euro Moon Rover”?

Deelvragen:

- Wat is de statische last?
- Wat is de dynamische last?
- Wat is de meest voorkomende last?

2.2 Eisen

Uit de opdrachtsbeschrijving zijn de volgende eisen gehaald:

1. De rover moet een helling van 20° op en af kunnen rijden.
2. De rover moet kunnen versnellen met $0.7[m/s^2]$ en vertragen met $0.5[m/s^2]$.
3. De rover moet een topsnelheid hebben van minstens $2.1[m/s]$.
4. De motor moet deel uitmaken van de “RE25 1187xx” familie en heeft een diameter van 25mm.
5. De overbrenging moet deel uitmaken van de “Planetary Gearhead GP xx xx” familie.

2.3 Gegevens

Uit de opdracht zijn de volgende gegevens gehaald:

- De massa van de rover: $m = 6[kg]$
- De valversnelling op de maan: $g_m = 1.62[m/s^2]$
- De rolweerstandscoefficiënt: $\mu_r = 0.1$
- De straal van de wielen: $r = 0.075[m]$
- De massatraagheid van de wielen: $J = 0.0021[kg \cdot m^2]$

Ook zijn de eisen genoteerd als gegevens:

- De maximale helling: $\theta_{max} = 20^\circ$
- De maximale versnelling: $a_{max} = 0.7[m/s^2]$
- De maximale snelheid: $v_{max} = 2.1[m/s]$

3 Onderzoek

Om te bepalen welk type motor het beste is voor de toepassing wordt er vooral gekeken naar de last die de motor moet verdragen. De last is opgedeeld in statische en dynamische last. De statische last is de last die de motor moet verdragen als de rover een vaste snelheid heeft. De dynamische last is de last die de motor moet verdragen als de rover versnelt of vertraagt.

$$T_{tot} = T_{stat} + T_{dyn} \quad (1)$$

3.1 Statistische last

Er zijn twee onderdelen in de statische last, namelijk de zwaartekracht en de rolweerstand.

Zwaartekracht

Met de zwaartekracht wordt de kracht bedoeld die resulteert uit de kracht die de rover omlaag duwt en de normaalkracht van het oppervlakte. Deze resulterende kracht is ervoor verantwoordelijk dat de rover de helling af “wil” rollen. Deze is te berekenen met de formule:

$$F_z = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (2)$$

- F_z is last die de zwaartekracht veroorzaakt in $[N]$
- m is de massa van de rover in $[kg]$
- g is de zwaartekracht in $[m/s^2]$
- θ is de hoek van de helling in $[rad]$

Rolweerstand

De rolweerstand is de kracht die het rollen tegenwerkt en is een gevolg van de frictie tussen de wielen en de grond. Deze kracht is te berekenen met de formule:

$$F_{rw} = u_r \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (3)$$

- F_{rw} is de last die de rolweerstand veroorzaakt in $[N]$
- u_r is de rolweerstandscoefficiënt
- g is de zwaartekracht in $[m/s^2]$
- θ is de hoek van de helling in $[rad]$

Totaal statische last

De totale statische last is dan de som van de zwaartekracht en de rolweerstand:

$$F_{stat} = F_z + F_{rw} \quad (4)$$

Om de motor te selecteren moet er gekeken worden naar de koppel. Om de koppel te berekenen per motor moet de volgende formule gebruikt worden:

$$T_{stat} = \frac{F_{stat} \cdot r}{4} \quad (5)$$

Let hierbij op dat de deze last **per wiel** geldt.

3.2 Dynamische last

De dynamische last volgt uit twee onderdelen: de massa van de rover en de massatraagheid van de wielen.

Massa

De last die volgt uit de massa van de rover is te berekenen met de formule:

$$T_m = m \cdot a \cdot r \quad (6)$$

- T_m is het koppel die nodig is om de rover te versnellen $[Nm]$
- m is de massa van de rover in $[kg]$
- a is de versnelling van de rover in $[m/s^2]$
- r is de straal van het wiel in $[m]$

Massatraagheid

De massatraagheid **per wiel** is te berekenen met de formule:

$$T_J = \frac{J \cdot a}{r} \quad (7)$$

- T_J is het koppel dat nodig is voor de hoekversnelling van het wiel, in $[Nm]$
- J is het traagheidsmoment van de wielen, in $[kg \cdot m^2]$
- a is de versnelling van de rover, in $[m/s^2]$
- r is de straal van het wiel, in $[m]$

Totaal dynamische last

De totale dynamische last koppel **per wiel** is beschreven met de formule:

$$T_{dyn} = \frac{T_m}{4} + T_J \quad (8)$$

3.3 Meest voorkomende last

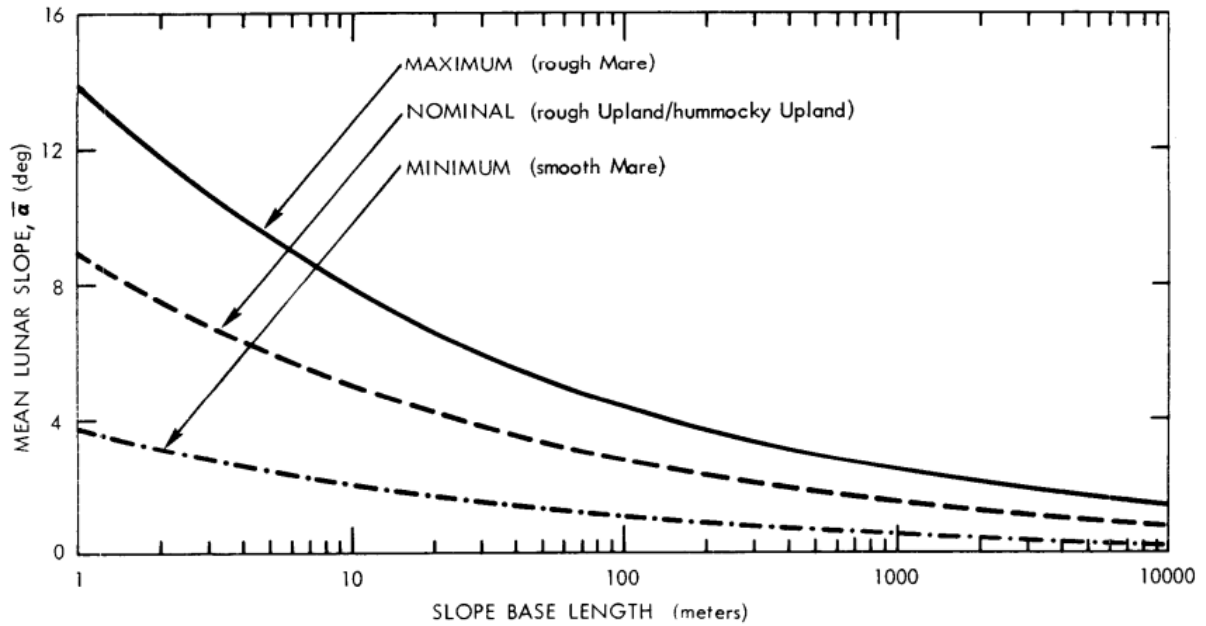
Omdat de rover op zonne energie zal gaan rijden, is het belangrijk dat de energie efficiënt gebruikt wordt. Door te onderzoeken welke last het meeste voorkomt, kan de motor en overbrenging zo worden gekozen om het meest efficiënt te werken voor die last. In lastberekeningen zijn maar drie variabelen: snelheid, versnelling en hellingshoek.

Dynamiek

We gaan ervan uit dat de rover altijd probeert om zijn maximale snelheid te rijden. De rover zal op zijn langst 7 seconden in versnelling zijn. 4 seconden vertragen en dan 3 seconden versnellen. We maken de aanname dat de gemiddelde reistijd van de rover vele malen groter zal zijn dan die 7 seconden. Om deze reden optimaliseren we de efficiëntie enkel op de statische last.

Terein

Om een inschatting te maken over het terrein op de maan is er een schriftelijk onderzoek gedaan. Uit dit onderzoek is een publicatie van NASA gevonden uit 1969 (nasa sp-8023, 1969), waarin de eigenschappen van het maanlandschap worden beschreven. In de grafiek in figuur 1 is te zien hoe groot de gemiddelde helling is op de maan. Door te kijken naar de kleinste hellinglengte en het nominale landschap, zien we dat de gemiddelde helling zo'n 8.5° is.



Figuur 1: Variatie gemiddelde maanhelling

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd.

4.1 last

De statische en dynamische lasten zijn berekend voor verschillende hellingen. Deze berekeningen zijn gedaan met formule x en y. De hellingen die we hebben gekozen om uit te rekenen zijn -20° , -8.5° , 0° , 8.5° en 20° graden. De reden hiervoor is toegelicht in het onderzoek. Uit deze berekeningen zijn de volgende resultaten gekomen:

Helling	-20°	-8.5°	0°	8.5°	20°
Statisch [mNm]	-45.20	-8.91	18.22	44.96	79.45
Dynamisch [mNm]	98.33	98.33	98.33	98.33	98.33
Totaal [mNm]	53.13	89.43	116.57	143.31	177.81

Tabel 1: Helling - Koppel

Deze tabel laat zien dat de grootste last die de motor moet verdragen is bij een versnelling van $0.7 [m/s^2]$ op een helling van 20° graden.

4.2 Motor

De motor is gekozen aan de hand van de tabel 1 in hoofdstuk 3.1. Ook is er gekeken naar de gearbox daar geldt namelijk dat hoe minder vertanding de gearbox hoeft te doen hoe efficiënter deze is. Hierdoor is er gekozen voor een zo traag mogelijke motor binnen de RE25 1187 serie. De motor die gekozen is is de RE25 118745. Hiervan staat de datasheet in de bijlage. Deze motor heeft een nominale snelheid van 3710 [rpm], een maximale efficiëntie van 90 procent en een nominale koppel van 28.7 [mNm]. De no-load snelheid is 4790 [rpm].

4.3 gearbox

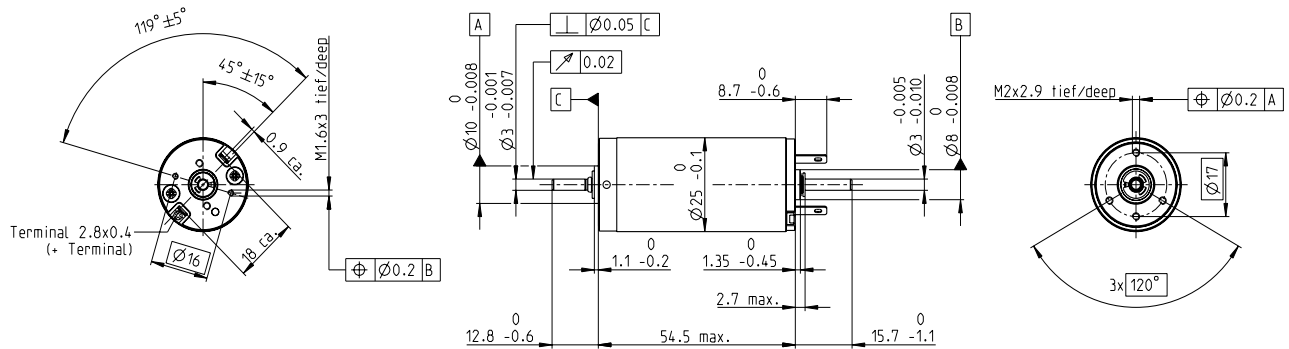
De gearbox is gekozen aan de hand van de motor. In de datasheet van de motor worden namelijk een aantal gearboxes aangeraden. Een daarvan is degene die wij gekozen hebben, namelijk de GP 26A 406757. Deze gearbox heeft een vertanding van 5.2:1. dit zorgt voor een Nominale snelheid van 710 [rpm] en een nominale koppel van 150 [mNm]. Dit is meer dan genoeg koppel om met een constante snelheid van $2.1 [m/s]$ te rijden op een helling van 20° graden.

5 Advies

Het advies wat blijkt uit dit verslag is om de RE25 118745 motor te gebruiken in combinatie met de GP 26A 406757 gearbox. Deze combinatie voldoet aan alle eisen die gesteld zijn in de opdracht. De motor heeft een nominale snelheid van 3710 [rpm] en een nominale koppel van 28.7 [mNm]. De gearbox heeft een veranding van 5.2:1 en daardoor wordt de nominale snelheid 710 [rpm] en de nominale koppel van 150 [mNm]. Dit is meer dan genoeg om een constante snelheid van 2.1 [m/s] te rijden op een helling van 20 graden. Ook kan er met deze motor en gearbox op een helling van 20 graden versneld worden met 0.7 [m/s] en vertraagd worden met 0.5 [m/s]. Deze motor en gearbox combinatie is een van de meest efficiënte combinaties die er zijn voor deze toepassing met de gestelde serie eisen. De beweerde efficiëntie van 90 procent is de hoogste in de RE25 1187 serie.

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

RE



M1:2

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

Part Numbers

118740 118741 118742 118743 118744 118745 118746 118747 118748

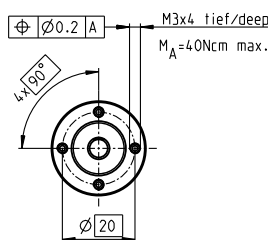
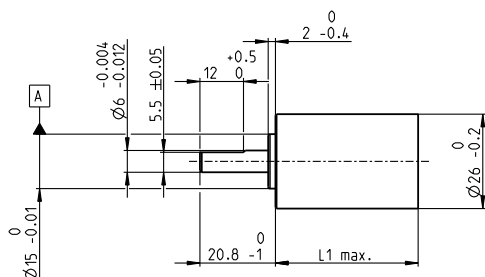
Motor Data		118740	118741	118742	118743	118744	118745	118746	118747	118748										
Values at nominal voltage																				
1 Nominal voltage	V	4.5	8	9	12	15	18	24	32	48										
2 No load speed	rpm	5360	5320	5230	4850	4980	4790	5190	5510	5070										
3 No load current	mA	79.7	44.4	38.7	26.3	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	0.0882	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	44	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 ²	11.7	10.4	9.49	10.8	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5										

Specifications	Operating Range	Comments
Thermal data 17 Thermal resistance housing-ambient 14 K/W 18 Thermal resistance winding-housing 3.1 K/W 19 Thermal time constant winding 12.5 s 20 Thermal time constant motor 612 s 21 Ambient temperature -20...+85°C 22 Max. winding temperature +100°C Mechanical data (ball bearings) 23 Max. speed 5500 rpm 24 Axial play 0.05 - 0.15 mm 25 Radial play 0.025 mm 26 Max. axial load (dynamic) 3.2 N 27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported) 64 N 28 Max. radial load, 5 mm from flange 800 N 16 N	n [rpm] 	<div style="color: red;">■</div> Continuous operation 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. <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></div> Short term operation The motor may be briefly overloaded (recurring). <div style="color: red;">—</div> Assigned power rating

Other specifications	Modular System	Sensor	Motor Control
29 Number of pole pairs 1	Gear	510_Encoder MR 128-1000 CPT	532_ESCON Module 24/2
30 Number of commutator segments 11	416_GP 26 A	515_Encoder Enc 22	532_ESCON 36/2 DC
31 Weight of motor 130 g	418_GP 32 BZ	518_Encoder HEDS 5540	533_ESCON Module 50/5
CLL = Capacitor Long Life	419_GP 32 A	520_Encoder HEDL 5540	535_ESCON 50/5
Values listed in the table are nominal.	422_GP 32 C	527_DC-Tacho DCT 22	541_EPOS4 Micro 24/5
Explanation of the figures on page 90.	429_KD 32		542_EPOS4 Module 24/1.5
Option	452-460_GP 32 S		542_EPOS4 Module 50/5
Preloaded ball bearings			543_EPOS4 Compact 24/5 3-axes
			544_EPOS4 Compact 24/1.5
			545_EPOS4 Compact 50/5
			547_EPOS4 50/5

Planetary Gearhead GP 26 A Ø26 mm, 0.75–4.5 Nm

gear



M 1:2

Technical Data

Planetary Gearhead	straight teeth
Output shaft	stainless steel, hardened
Bearing at output	preloaded ball bearings
Radial play, 5 mm from flange	max. 0.1 mm
Axial play at axial load	< 6 N 0 mm
	> 6 N 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	8000 rpm
Recommended temperature range	-30...+100°C
Extended range as option	-40...+100°C
Number of stages	1 2 3
Max. radial load, 12 mm from flange	70 N 110 N 140 N

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

Part Numbers

	406757	406762	406764	406767	406128	406769	406770	406771	406092
Gearhead Data									
1 Reduction	5.2:1	19:1	27:1	35:1	71:1	100:1	139:1	181:1	236:1
2 Absolute reduction	57/11	359/187	3249/121	1539/44	226233/3179	204687/2057	185193/1331	87723/484	41553/176
3 Max. motor shaft diameter mm	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4 Number of stages	1	2	2	2	3	3	3	3	3
5 Max. continuous torque Nm	0.75	2.25	2.25	2.25	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
6 Max. intermittent torque at gear output Nm	1.1	3.2	3.2	3.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
7 Max. efficiency %	90	80	80	80	70	70	70	70	70
8 Weight g	53	77	77	77	93	93	93	93	93
9 Average backlash no load °	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
10 Mass inertia gcm ²	0.96	0.54	0.54	0.54	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
11 Gearhead length L1 mm	23.4	32.9	32.9	32.9	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
13 Max. transmittable power (continuous) W	60	35	35	35	20	20	20	20	20
14 Max. transmittable power (intermittent) W	90	50	50	50	30	30	30	30	30



maxon Modular System

+ Motor	Page	+ Sensor/Brake	Page	Overall length [mm] = Motor length + gearhead length + (sensor/brake) + assembly parts							
RE 25	144/146			78.0	87.5	87.5	87.5	94.1	94.1	94.1	94.1
RE 25	144/146	MR	478	89.0	98.5	98.5	98.5	105.1	105.1	105.1	105.1
RE 25	144/146	Enc 22	483	92.1	101.6	101.6	101.6	108.2	108.2	108.2	108.2
RE 25	144/146	HED_ 5540	486/488	98.8	108.3	108.3	108.3	114.9	114.9	114.9	114.9
RE 25	144/146	DCT 22	495	100.3	109.8	109.8	109.8	116.4	116.4	116.4	116.4
RE 25, 20 W	145			66.5	76.0	76.0	76.0	82.6	82.6	82.6	82.6
RE 25, 20 W	145	MR	478	77.5	87.0	87.0	87.0	93.6	93.6	93.6	93.6
RE 25, 20 W	145	HED_ 5540	487	87.3	96.8	96.8	96.8	103.4	103.4	103.4	103.4
RE 25, 20 W	145	DCT 22	495	88.8	98.3	98.3	98.3	104.9	104.9	104.9	104.9
RE 25, 20 W	145	AB 28	535	100.6	110.1	110.1	110.1	116.7	116.7	116.7	116.7
RE 25, 20 W	145	HED_5540/AB 28	487/535	117.8	127.3	127.3	127.3	133.9	133.9	133.9	133.9
RE 25, 20 W	146	AB 28	535	112.1	121.6	121.6	121.6	128.2	128.2	128.2	128.2
RE 25, 20 W	146	HED_ 5540/AB 28	488/535	129.3	138.8	138.8	138.8	145.4	145.4	145.4	145.4
A-max 26	171-174			68.2	77.7	77.7	77.7	84.3	84.3	84.3	84.3
A-max 26	171-174	MR	478	77.0	86.5	86.5	86.5	93.1	93.1	93.1	93.1
A-max 26	171-174	Enc 22	483	82.6	92.1	92.1	92.1	98.7	98.7	98.7	98.7
A-max 26	171-174	HED_ 5540	487/489	86.6	96.1	96.1	96.1	102.7	102.7	102.7	102.7