

Aandrijftechniek Moonrover

Vollmuller, Michel
1809572

Willems, Tijmen
1805057

michel.vollmuller@student.hu.nl

tijmen.willems@student.hu.nl

28 maart 2024

Samenvatting

Hier komt een mooie abstract

Inhoudsopgave

| | |
|----------------------|-----------|
| 1 Inleiding | 2 |
| 2 Analyze | 2 |
| 2.1 Vraagstelling | 2 |
| 2.2 Specificaties | 2 |
| 3 Lasten | 3 |
| 3.1 Rollast | 3 |
| 3.2 Hellingslast | 3 |
| 3.3 Grip | 4 |
| 3.4 Versnelling | 5 |
| 3.5 Snelheid | 5 |
| 3.6 Conclusie | 6 |
| 4 Motor | 7 |
| 4.1 Motorkeuze | 7 |
| 4.2 transmissiekeuze | 8 |
| 4.3 efficiëntie | 8 |
| 4.4 Warmtedisipatie | 8 |
| 4.5 Conclusie | 8 |
| Conclusie | 9 |
| Aanbevelingen | 9 |
| Referenties | 10 |
| Appendices | 11 |

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 Analyze

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 |
| wrijvingscoefficient : | 0.9 |
| rolweerstandcoefficient : | 0.1 |
| Massatraagheid (J) : | $2.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |

Eisen / Wensen

| | |
|----------------------------|---------------------|
| topsnelheid vlakke grond : | 2.1 m/s |
| versnelling vlakke grond : | 0.7 m/s^2 |
| vertraging vlakke grond : | 0.5 m/s^2 |
| max helling : | 30 degrees |

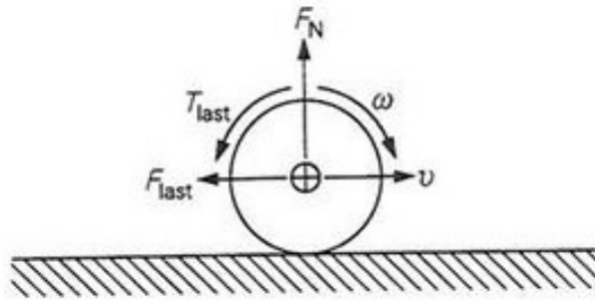
[1]

3 Lasten

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

3.1 Rollast

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



Figuur 1: rollast krachten

Formules:

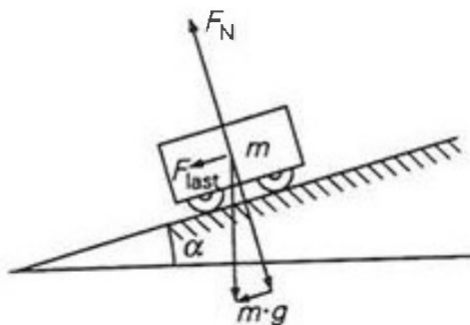
$$\begin{aligned} T_{last} &= f_{rol} \cdot F_N \cdot r \\ F_N &= m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \\ \Downarrow \\ T_{last} &= 0.1 \cdot 2.43 \cdot 0.075 = 18.23[mNm] \end{aligned} \quad (1)$$

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 onder een helling bevindt. Wanneer deze helling stijgend is zal dit de last zijn die overtroffen moet worden om voorruit te komen. Wanneer deze helling dalend is is dit de last die overtroffen moet worden of tot stilstand te komen.



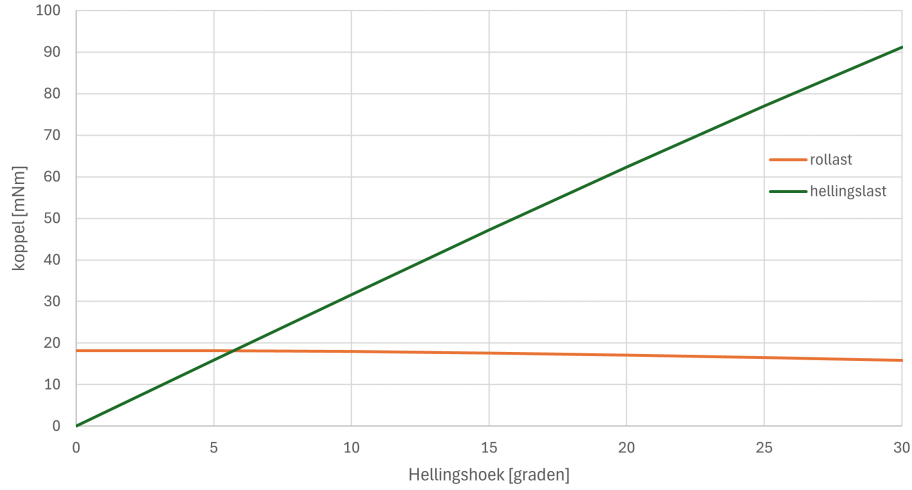
Figuur 2: hellingslast krachten

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 $\approx 5.7^\circ$ 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 berkent:

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

3.3 Grip

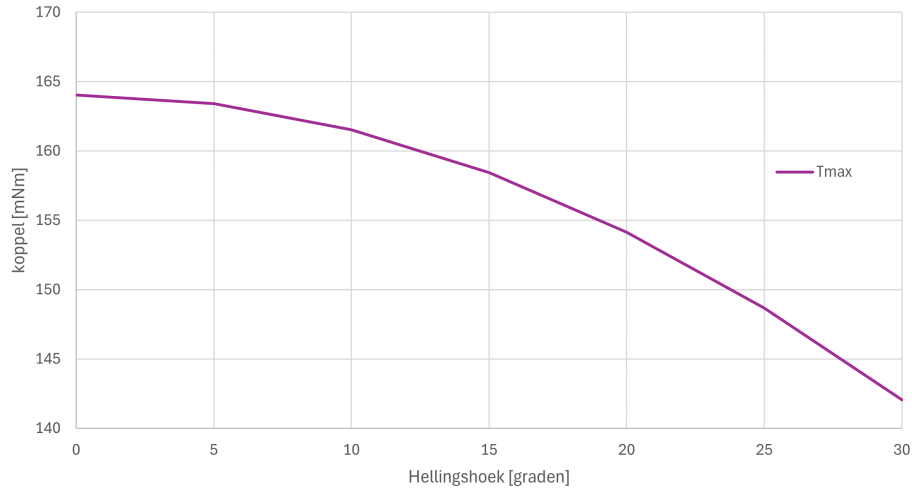
Onder grip verstaan we de hoeveelheid torque die op de aandrijving gegeven kan worden zonder dat het wiel zal gaan slippen. Hierbij berkenen we dus ook wat de maximale torque is die gegeven kan worden op de aandrijving.

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:

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



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 berekend 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 berekenen we de maximale rpm waarbij de maximale snelheid van van 2.1 m/s niet word overtroffen.

Formules:

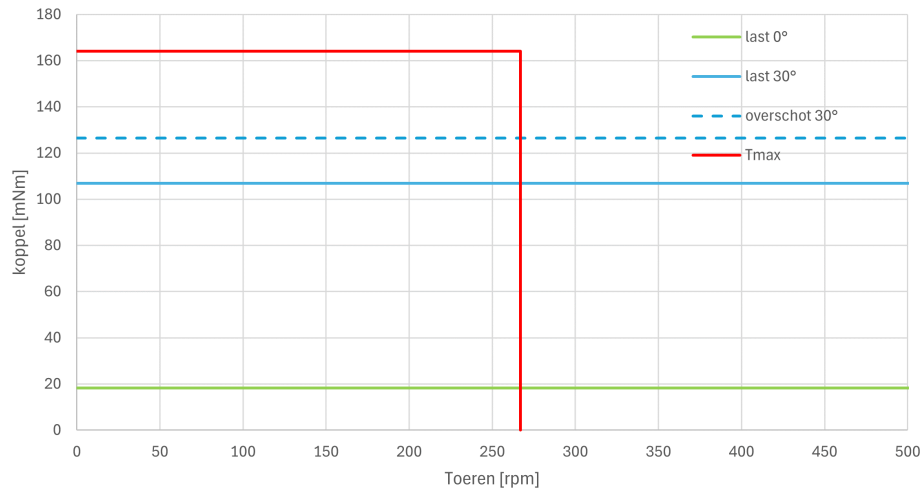
$$\begin{aligned}
 omtrek &= 2 \cdot \pi \cdot r \\
 snelheid &= \frac{speed_{max}}{omtrek} = \frac{2.1}{0.47} = 4.46[omw/s] \\
 &\Downarrow \\
 &= 267.4[rpm]
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

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

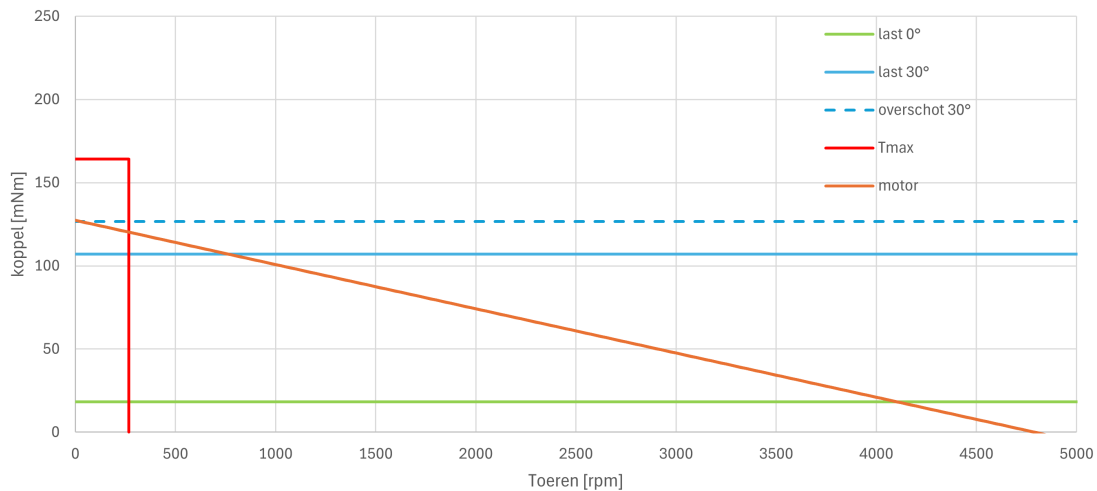
In het volgende hoofdstuk is zijn de lasten van de moonrover bepaald. Op basis van deze gegevens kunen we de juiste motor gaan selecteren voor de moonrover. Door de leverancier "Maxoni" er een advies gedaan van een reeks motoren en transmissies;

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

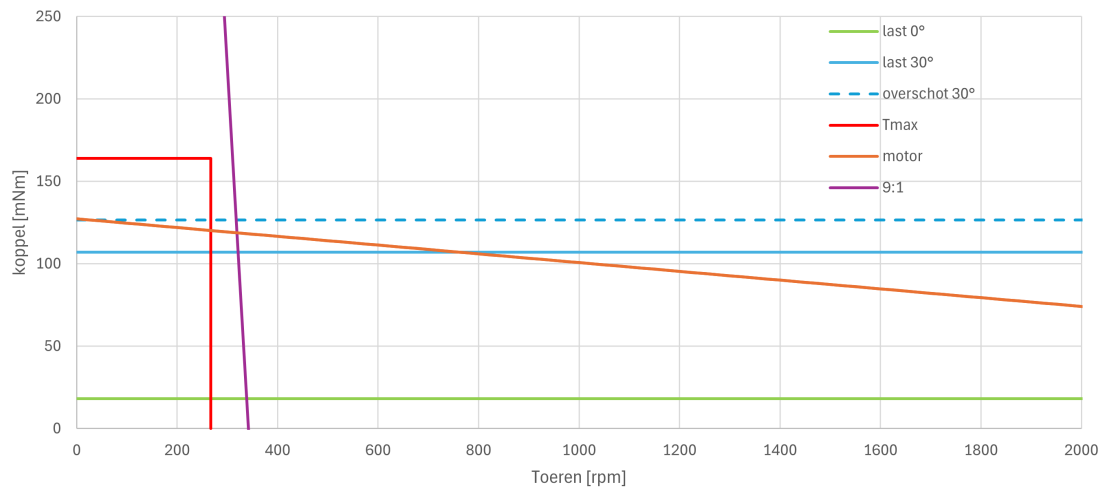
Binnen de aangegeven maxon reeks hebben wij gekozen voor de RE25 118745. In theorie is het mogelijk om elke motor te kieze binnen de aangegeven reeks in combinatie met de juiste transmissie. Voor deze specifieke situatie hebben we gekozen voor de RE25 118745. Dit is een wat kleinere motor binnen de reeks, echter is het mooie van deze motor dat hij een efficiëntie van 90% heeft. In afbeelding 6 is te zien hoe de koppel toeren karakteristiek 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 4.5 is de datasheet te zien van deze motor.



Figuur 6: koppel toeren karakteristiek 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 4.5) 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 toeren karakteristiek veranderen wat te zien is in afbeelding 7 hier is duidelijk te zien dat met deze transmissie de 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 toeren karakteristiek met GP 32 A 166158

4.3 efficiëntie

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.

4.5 Conclusie

Conclusie

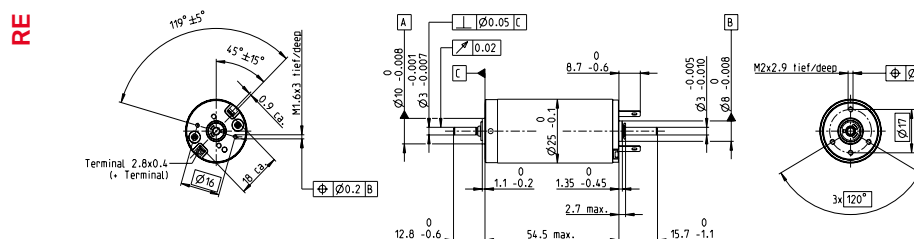
Aanbevelingen

Referenties


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

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

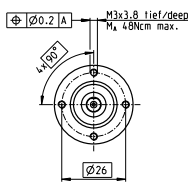
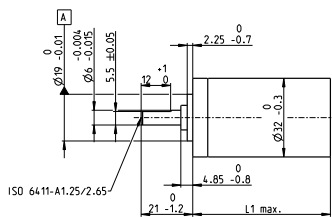
[illegible]

| 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 61.2 s 21 Ambient temperature -20...+85°C 22 Max. winding temperature +100°C | n [rpm] | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></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> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Short term operation The motor may be briefly overloaded (recurring). </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Assigned power rating </div> |
| 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) 6.4 N (static, shaft supported) 800 N 28 Max. radial load, 5 mm from flange 16 N | M [mNm] I [A] | |

| Other specifications | | Modular System | | Details on catalog page 44 | |
|---|-------|------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| 29 Number of pole pairs | 1 | Gear | Sensor | Motor Control | |
| 30 Number of commutator segments | 11 | | | 532, ESCON Module 24/2 | |
| 31 Weight of motor | 130 g | | | 532, ESCON 36/2 DC | |
| CLL = Capacitor Long Life | | | | 533, ESCON Module 50/5 | |
| | | | | 535, ESCON 50/5 | |
| Values listed in the table are nominal. | | 416, GP 26 A | 510, Encoder MR 128-1000 CPT | 541, EP054 Micro 24/5 | |
| Explanation of the figures on page 90. | | 418, GP 32 BZ | 515, Encoder Enc 22 | 542, EP054 Module 24/1.5 | |
| | | 419, GP 32 A | 518, Encoder HEDS 5540 | 542, EP054 Module 50/5 | |
| | | 422, GP 32 C | 520, Encoder HEDL 5540 | 543, EP054 Compact 24/5 3-axes | |
| | | 429, KD 32 | 527, DC-Tacho DCT 22 | 544, EP054 Compact 24/1.5 | |
| | | 452-460, GP 32 S | | 545, EP054 Compact 50/5 | |
| Option | | | | 547, EP054 50/5 | |
| Preloaded ball bearings | | | | | |

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

| | | Part Numbers | | | | | | | | | | | | |
|---|---|------------------|-----------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| <div><div></div>Stock program</div> <div><div></div>Standard program</div> <div><div></div>Special program (on request)</div> | | 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 | | $\frac{29}{2}$ | $\frac{679}{64}$ | $\frac{52}{16}$ | $\frac{175}{16}$ | $\frac{382}{16}$ | $\frac{425}{16}$ | $\frac{861}{16}$ | $\frac{1904}{16}$ | $\frac{10137}{80}$ | $\frac{4651}{16}$ | $\frac{10983}{16}$ | $\frac{33}{2}$ |
| 3 | Max. motor shaft diameter | mm | 6 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Part Numbers | | | 166156 | 166159 | 166165 | 166170 | 166175 | 166180 | 166185 | 166188 | 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 | | $\frac{25}{3}$ | $\frac{624}{64}$ | $\frac{162}{25}$ | $\frac{687}{64}$ | $\frac{10106}{128}$ | $\frac{3317}{64}$ | $\frac{3605}{32}$ | $\frac{2425489}{1715}$ | $\frac{536402}{64}$ | $\frac{1407112}{128}$ | $\frac{839523}{160}$ | |
| 3 | Max. motor shaft diameter | mm | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Part Numbers | | | 166157 | 166160 | 166166 | 166171 | 166176 | 166181 | 166186 | 166189 | 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 | | $\frac{23}{4}$ | $\frac{299}{4}$ | $\frac{388}{9}$ | $\frac{31}{4}$ | $\frac{1321}{25}$ | $\frac{2063}{125}$ | $\frac{279841}{125}$ | $\frac{934002}{16}$ | $\frac{9122}{16}$ | $\frac{206668}{16}$ | $\frac{474531}{4}$ | $\frac{643633}{1024}$ |
| 3 | Max. motor shaft diameter | mm | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 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 | | $\frac{57}{25}$ | $\frac{1587}{10}$ | $\frac{14976}{125}$ | $\frac{861}{10}$ | $\frac{35942}{125}$ | $\frac{79448}{125}$ | | $\frac{118221}{16}$ | $\frac{798264}{128}$ | $\frac{457068}{125}$ | | |
| 3 | Max. motor shaft diameter | mm | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 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 | | $\frac{139}{5}$ | | $\frac{3599}{35}$ | $\frac{12167}{16}$ | $\frac{8940}{196}$ | $\frac{15817}{124}$ | | $\frac{223881}{1125}$ | $\frac{205673}{184}$ | $\frac{363793}{196}$ | | |
| 3 | Max. motor shaft diameter | mm | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | | |
| Number of stages | | | | | 2 | 3 | 3 | 4 | | 4 | 5 | 5 | 5 | |
| 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 | 75 | 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 ² | 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, 20 W | 144/146 | | | 81.1 | 91.0 | 91.7 | 97.7 | 104.4 | 111.1 | 111.1 |
| RE 25, 20 W | 144/146 | MR | 478 | 92.7 | 102.0 | 102.0 | 108.7 | 108.7 | 115.4 | 122.2 |
| RE 25, 20 W | 144/146 | Enc 22 | 483 | 95.2 | 105.1 | 105.1 | 111.8 | 111.8 | 118.5 | 125.2 |
| RE 25, 20 W | 144/146 | HED_5540 | 486/488 | 101.9 | 111.8 | 111.8 | 118.5 | 125.2 | 125.2 | 131.9 |
| RE 25, 20 W | 144/146 | DCT 22 | 495 | 103.4 | 113.3 | 113.3 | 120.0 | 126.7 | 126.7 | 133.4 |
| RE 25, 20 W | 145 | | | 69.6 | 79.5 | 79.5 | 86.2 | 92.9 | 92.9 | 99.6 |
| RE 25, 20 W | 145 | MR | 478 | 80.6 | 90.5 | 90.5 | 97.2 | 97.2 | 103.9 | 110.6 |
| RE 25, 20 W | 145 | HED_5540 | 487/490 | 90.4 | 100.3 | 100.3 | 107.0 | 107.0 | 113.7 | 120.4 |
| RE 25, 20 W | 145 | DCT 22 | 495 | 91.9 | 101.8 | 101.8 | 108.5 | 108.5 | 115.2 | 121.9 |
| RE 25, 20 W | 145 | AB 28 | 535 | 103.7 | 113.6 | 113.6 | 120.3 | 120.3 | 127.0 | 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 | 150.9 |
| RE 25, 20 W | 146 | AB 28 | 535 | 115.2 | 125.1 | 125.1 | 131.8 | 131.8 | 138.5 | 145.2 |
| RE 25, 20 W | 146 | HED_5540/AB 28 | 486/535 | 132.4 | 142.3 | 142.3 | 149.0 | 149.0 | 155.7 | 162.4 |
| RE 30, 15 W | 147 | | | 94.6 | 104.5 | 104.5 | 111.2 | 111.2 | 117.9 | 124.6 |
| RE 30, 15 W | 147 | MR | 478 | 106.1 | 115.9 | 115.9 | 122.6 | 122.6 | 129.3 | 136.0 |
| RE 30, 15 W | 147 | HED_5540 | 486/488 | 123.5 | 133.4 | 133.4 | 140.1 | 140.1 | 146.8 | 153.5 |
| RE 30, 60 W | 148 | | | 94.6 | 104.5 | 104.5 | 111.2 | 111.2 | 117.9 | 124.6 |
| RE 30, 60 W | 148 | MR | 479 | 106.0 | 115.9 | 115.9 | 122.6 | 122.6 | 129.3 | 136.0 |
| RE 30, 60 W | 148 | HED_5540 | 486/488 | 115.4 | 125.3 | 125.3 | 132.0 | 132.0 | 138.7 | 145.4 |
| RE 35, 90 W | 149 | | | 97.6 | 107.5 | 107.5 | 114.2 | 114.2 | 120.9 | 127.6 |
| RE 35, 90 W | 149 | MR | 479 | 109.0 | 118.9 | 118.9 | 125.6 | 125.6 | 132.3 | 139.0 |
| RE 35, 90 W | 149 | HED_5540 | 486/488 | 118.3 | 128.2 | 128.2 | 134.9 | 134.9 | 141.6 | 148.3 |
| RE 35, 90 W | 149 | DCT 22 | 495 | 115.7 | 125.6 | 125.6 | 132.3 | 132.3 | 139.0 | 145.7 |
| RE 35, 90 W | 149 | AB 28 | 535 | 133.7 | 143.6 | 143.6 | 150.3 | 150.3 | 157.0 | 163.7 |
| RE 35, 90 W | 149 | HED 5540/AB 28 | 486/535 | 150.9 | 160.8 | 160.8 | 167.5 | 167.5 | 174.2 | 180.9 |

March 2021 edition / subject to change

maxon gear 393