

E3 project mechatronica

F.Post (S1134865)

f.post@windesheim.nl

Docent: Rick Damhuis

Opleiding: Lerarenopleiding proPIE, moduleE

Niveau: Bachelor/ 2e graads

07-02-2022

Inhoud

Voorwoord:	2
De opdracht:	3
Berekening en keuze van de motor:	3
Statisch vermogen:	4
Dynamisch vermogen:	5
Totaal vermogen:	5
Toelaatbare aanloopversnelling:	6
Zachte versnelling:	6
Aanloopkoppel:	6
Gekozen motor:	6
Herberekening:	9
Berekening van de reductor:	10
Conclusie:	12
Aanbeveling:	12
Legenda van tekens:	12
Bronnen:	13
Individuele beoordeling:	14
Tabellenbijlage:	15

Voorwoord:

De opdracht:

Dit verslag gaat over de door mij uitgevoerde opdrachten in het kader van E3 project mechatronica. Tijdens deze module Mechatronica is een opdracht waarbij je je zelfstandig verdiept in het selecteren van een aandrijving voor een werktuig of een machine. Dit is een gebied dat hoort bij de kennis en kunde van een specialist in Mechatronica.

Deze opdracht was om een casus van een mechatronische aandrijving uit te werken zodat een juiste aandrijving wordt gekozen met het juiste vermogen. Om het geheel uit te werken was het toegestaan om gebruik te maken van een van de voorbeelden uit het bestand SEW "Het selecteren van aandrijvingen". Dit stond als bijlage in de ELO en was vrij toegankelijk als naslagwerk.

Het dossier moest uit de volgende onderdelen bestaan:

- Ontwerp: gedetailleerd met onderbouwde keuzes;
- Relevante parameters: minimaal 4 zoals bijv. lengte, snelheid, massa etc.
- Keuze van een motor (eventueel met frequentieregelaar)
- Literatuur

Wat niet hoeft: Het elektrisch deel van de aandrijving en tekeningen en schema's.

Om het geheel uit te werken is gebruik gemaakt van het bestand "Het selecteren van aandrijvingen" van SEW. Dit is ook vrij te downloaden.

Hierbij is een selectie gemaakt van de te gebruiken hoofdstukken:

Hoofdstuk 6: reductoren;

Hoofdstuk 7 formules in de aandrijftechniek;

Hoofdstuk 8 rekenvoorbeeld rijwerkaandrijving.

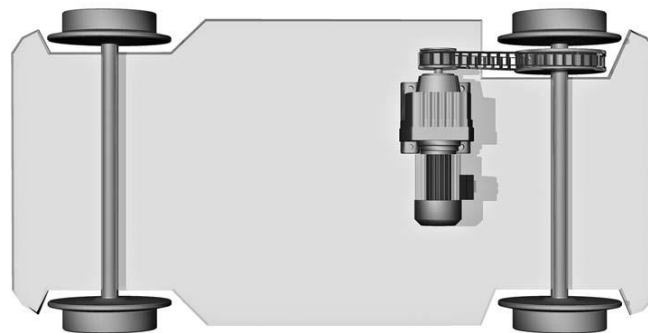
Aan de hand van deze gegevens heb ik een aantal parameters aangepast om zo een eigen casus te creëren. Met deze informatie en berekeningen heb ik het ontwerp verder uitgewerkt. Al met al een lastige opdracht waarbij ik twee keer gebruik heb gemaakt van de mogelijkheid om contact te leggen via het medium Teams met de docent. Op deze manier heb ik toch de berekeningen kunnen uitvoeren.

De opdracht:

Gegevens: Met de volgende gegevens dient een draaistroomremmotor met een rechte reductor gekozen te worden:

Massa van de te verrijden wagen:	$m_0 = 2500\text{kg}$
Lastmassa:	$m_L = 1500\text{ kg}$
Snelheid:	$v = 0,8\text{ m/s}$
Loopwieldiameter:	$D = 300\text{ mm}$
Wielapdiameter:	$d = 80\text{ mm}$
Wrijvingscombinatie:	staal/staal
Rolweerstandarm:	staal op staal $f = 0,5\text{ mm}$
Spoorkrans- en wielflenswrijvingswaarde:	voor wentellagers $c = 0,003$
Lagerrolweerstandscoefficiënt:	voor wentellagers $\mu_L = 0,005$
Open overbrenging:	kettingoverbrenging, $i_v = 27/17 = 1,588$
Kettingwieldiameter (gedreven):	$d_0 = 275\text{ mm}$
Lastrendement:	$\eta_L = 0,85$
Inschakelduur:	35 % ID
Schakelfrequentie:	60 ritten/uur beladen en 60 ritten/uur leeg, 12 uren/dag

Er worden 2 wielen aangedreven. De wielen mogen bij het versnellen niet doorslippen.



Figuur 1 rijwerkaandrijving

Berekening en keuze van de motor:

Rijweerstand:	$F_f = m \cdot g \cdot (2/D \cdot (\mu_L \cdot d/2 + f) + c) = N$
Beladen:	$F_f = 3500\text{ kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot (2/300 \cdot (0,005 \cdot 80/2 + 0,5) + 0,003) = 264\text{N}$
Leeg:	$F_f = 2500\text{ kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot (2/300 \cdot (0,005 \cdot 80/2 + 0,5) + 0,003) = 188,6\text{N}$

Voor het berekenen van de rijweerstand is het niet van invloed hoeveel loopwielen gebruikt worden.

Statisch vermogen:

Het statisch vermogen P_s houdt rekening met alle krachten die tijdens niet-versnellend bedrijf optreden. Dit zijn onder andere:

- Rollende wrijving
- Wrijvingskrachten
- Hefkracht onhoog
- windkracht

$$P_s = \frac{F_F \cdot v}{\eta}$$

Rendement	η_T is het totale rendement van de installatie, bestaande uit het rendement van de reductor η_G en het rendement van de externe overbrengingselementen η_L . De rendementen van de overbrengingselementen kunnen ontleend worden aan de tabellenbijlage.
Rechte en kegelwielvertanding	Het rendement van de reductor kan bij rechte en kegelwielvertanding gesteld worden op $\eta_G = 0,98$ per tandwieltrap (bijv. 3-traps reductor: $\eta_G = 0,94$). De rendementen van de wormwielaandrijvingen gelieve u, rekening houdend met de overbrengingsverhouding te ontleen aan catalogus SEW-motorreductoren. Aangezien de reductor op dit moment nog niet bepaald is, wordt de gemiddelde waarde van 2- en 3-trapsreductoren $\eta_G = 0,95$ gerekend
Lastrendement	Het rendement van de last is afhankelijk van de overbrengingselementen na de reductor (bijv. kettingen, riemen, kabels, vertande delen...) Uit de tabellenbijlage: rendement van kettingen $\eta_L = 0,90 \dots 0,96$. Wanneer geen nauwkeuriger waarden beschikbaar zijn, wordt met de kleinste waarde ($\eta_L = 0,90$) gerekend.
Totaalrendement	$\eta_T = \eta_G \cdot \eta_L = 0,95 \cdot 0,9 = 0,85$

Rendement bij drijvende last:	Rendementen bij drijvende lasten kunnen volgens de volgende formule berekend worden: $\eta' = 2 - 1/\eta$
--------------------------------------	---

Hieruit is in te zien dat bij een rendement van 50% (0,5) en kleiner het rendement bij drijvende last tot 0 nadert (statisch zelfremmend!).

Aan de hand van de berekende rijweerstand kan nu de formule voor het statisch vermogen worden ingevuld.

Statisch vermogen	
Beladen	$P_s = \frac{264\text{N} \cdot 0,8\text{m/s}}{0,85} = 248,5\text{W} = 0,249 \text{ kW}$
Leeg	$P_s = \frac{188,6\text{N} \cdot 0,8\text{m/s}}{0,85} = 177,1\text{W} = 0,178 \text{ kW}$

Het berekende statische vermogen is betrokken op de motoras.

Dit vermogen is slechts een deel van het benodigde motorvermogen, omdat bij horizontale aandrijvingen het versnellingsvermogen (= dynamisch vermogen) maatgevend is.

Dynamisch vermogen:

Het dynamische vermogen is het vermogen, waarmee het totale systeem (last, overbrengingselementen, reductor en motor) versnelt. Bij ongeregelde aandrijvingen biedt de motor een aanloopkoppel, waarmee dit systeem wordt versneld. Hoe hoger het aanloopkoppel, hoe groter de versnelling is.

Over het algemeen kunnen de massastraagheidsmomenten van de overbrengingselementen en reductoren verwaarloosd worden. Het massastraagheidsmoment van de motor is nog niet bekend, omdat de motor eerst nog bepaald moet worden. Om die reden dient een motor bij benadering uitsluitend berekend te worden uit het dynamische vermogen voor het versnellen van de last. Omdat echter de verhouding van last- tot motormassastraagheidsmoment bij rijwerk aandrijvingen in normale gevallen zeer hoog is, kan de motor hier reeds heel nauwkeurig bepaald worden. Ondanks dat is een controle achteraf noodzakelijk.

Totaal vermogen:

$P_T = P_{DL} + P_{DM} + P_S$
$P_T = \frac{m \cdot a \cdot v}{\eta} + P_{DM} + \frac{F_F \cdot v}{\eta}$

P_T = totaal vermogen

P_{DL} = dynamisch vermogen van de last

P_{DM} = dynamisch vermogen van de motor

P_S = statisch vermogen

η = totaal rendement

De ontbrekende waarde van de toelaatbare aanloopversnelling a_p dient nog berekend te worden. Het criterium hierbij is, dat de loopwielen niet mogen doorslippen.

Toelaatbare aanloopversnelling:

De wielen slippen, wanneer de omtrekskracht F_U aan de wielen groter is dan de wrijvingskracht F_R .

Omtrekskracht	Grensgeval: $F_U = m \cdot a = F_R = m' \cdot g \cdot \mu_0$
	$m' =$ op de drijvende wielen afgesteunde massa, met 2 gedreven wielen van de 4 is $m' = m/2$ $\mu_0 = 0,15$ (wrijvingscoëfficiënt rustwrijving staal/staal, zie de tabellenbijlage)
Toelaatbare versnelling	$a_p = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \mu_0 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,15 = 0,74 \text{ m/s}^2$

Wanneer de versnelling a kleiner is dan de toelaatbare versnelling a_p , dan slippen de wielen niet door.

Totaal vermogen (zonder het dynamische vermogen voor de motor)

Beladen	$P_T = \frac{3500 \text{ kg} \cdot 0,74 \text{ m/s}^2 \cdot 0,8 \text{ m/s}}{0,85} + \frac{264 \text{ N} \cdot 0,8 \text{ m/s}}{0,85} = \underline{2686,1 \text{ W}}$
Leeg	$P_T = \frac{2500 \text{ kg} \cdot 0,74 \text{ m/s}^2 \cdot 0,8 \text{ m/s}}{0,85} + \frac{188,6 \text{ N} \cdot 0,8 \text{ m/s}}{0,85} = \underline{2096,2 \text{ W}}$

Zachte versnelling:

Het doorslippen van de loopwielen door een te grote versnelling dient verhinderd te worden. Daarom wordt een 2-polige motor gekozen. Door de kleinere verhouding van het externe en motortraagheidsmoment is meer energie nodig om de motor naar het hoge toerental te versnellen. Het versnellingsproces verloopt zachter.

Aanloopkoppel:

Bij 2-polige motoren in dat vermogensbereik is het aanloopkoppel M_H een factor 2 groter dan het nominale koppel. Omdat de ingevoerde versnelling de maximaal toelaatbare versnelling weergeeft, kiezen we eerst een motor waarvan het nominale vermogen kleiner is dan het voor de lege toestand berekende totale vermogen P_{tot} .

Gekozen motor:

SEW biedt haar klanten een uitstekende tool in de vorm van een website, namelijk <https://www.sew-eurodrive.nl/os/ds/driveselection/productselection>. Via een rekentabel (zie figuur 2 pagina) die digitaal kan worden ingevoerd zal de tabel na invoering een advies geven welke motor, eventueel met reductor, het beste past bij de berekende waarden (zie figuur 3).


Your application data ^①

Mass	3500	kg	▼
Carrying wheel diameter	300	mm	▼
Velocity	0,8	m/s	▼
Acceleration	▼ 0,74	m/s ²	▼
Rolling friction	▼ ≡ 0,5	mm	▼
Additional gear ratio	1,588		
System efficiency	95	%	

Calculated load data (Metric) ▼

Static power	0,212 kW
Dynamic power	2,18 kW
Max. power	2,39 kW
Static application torque	25 Nm
Dynamic application torque	257 Nm
Max. application torque	283 Nm
External inertia	31,23 kgm ²
Output speed	80,9 1/min

Figuur 2 rekentabel SEW



①
Application selection

②
Data entry

③
Recommendations

✔
Product selection

Drive Selection
Application data Trolley ▼
Load data ▼

Parallel shaft helical gearmotor FA47DRN100LS4/BE5/TF ^

Catalog designation	FA47DRN100LS4/BE5/TF
Rated motor speed	1450 1/min
Output speed	84 1/min
Overall gear ratio	17,33
Output torque	250 Nm
Maximum permitted output torque	400 Nm
Service factor SEW	1,6
Permitted output overhung load wit...	4140 N
Motor power	2,2 kW
Braking torque	28 Nm
Availability	● Available
Delivery time	8 Weeks



Illustration similar

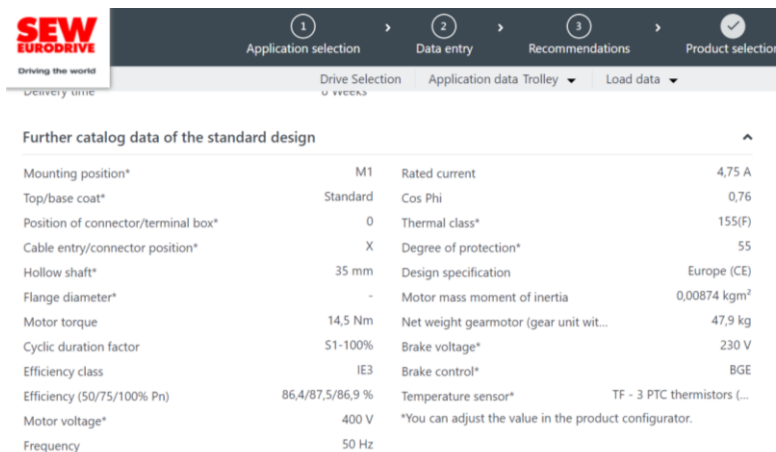
The delivery time may change depending on the quantity. The information is based on the standard design of the product. Concrete dates are possible after consultation.

Figuur 3 gekozen motor

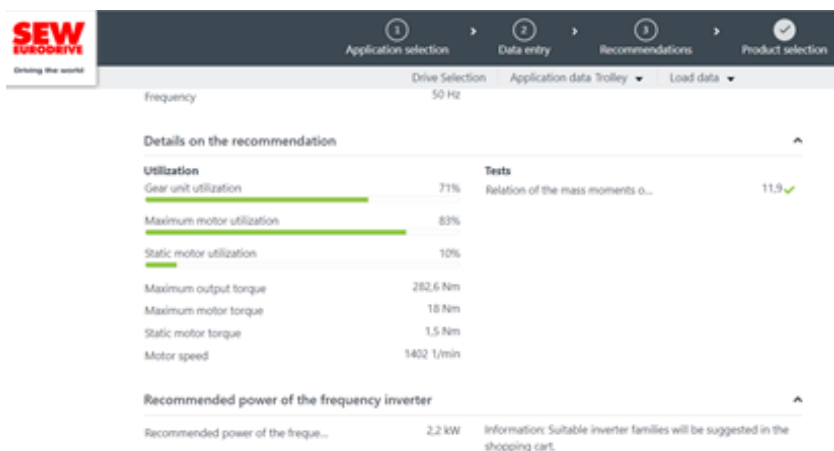
Uit deze gegevens kunnen we nu het getal berekenen van de M_H/M_N .

Volgens de legenda van tekens (sew-eurodrive.com hoofdstuk 17.2 blz. 150) is M_H het gemiddelde aanlooppkoppel 400 Nm en M_N is het nominaal koppel 250Nm. Hieruit volgt het getal $400/250 = 1,6$

Dit getal hebben we later weer nodig in de verdere berekening.



Figuur 4 uitgebreide info



Figuur 5 aanbevelingen

https://www.sew-eurodrive.nl/os/catalog/products/gears/standalonegear/default.aspx?language=en_US&country=NL

Technische data		
FA47/A		
kenmerk	Waarde	Eenheid
Snelheid	1400 / 81	1 minuut
Algemene overbrengingsverhouding:	17,33	
Uitgangskoppel Mamax	400	Nm
Montagepositie:	M1	
Basis / toplaag	7031 Blauwgrijs (51370310)	
Holle schacht	35	mm
Hoeveelheid smeermiddel 1e tandwielkast	1,5	Liter
Rondsel boring	10 / 18	mm
Massa-traagheidsmomenten (verwijzend naar de invoerzijde)	1,39	10 ⁻⁴ kgm ²
Netto gewicht	18	Kg

Om nu de juiste berekeningen te kunnen maken zijn de volgende gegevens van belang:

Motorvermogen $P_N = 2,2 \text{ kW}$
Motortoerental $N_M = 1450 \text{ r/m}$
Gereduceerd toerental = 84 r/m
 $M_H/M_N = 400/250 = 1,6$
 $J_M = 1,39 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$

Figuur 6

Herberekening:

De tot dusver uitgevoerde berekening vond plaats zonder motorgegevens. Daarom is een gedetailleerde herberekening met motorgegevens noodzakelijk.

Aanlooptijd: Op de motoras betrokken extern massa traagheidsmoment in lege toestand:

Extern massa traagheidsmoment	$J_x = 91,2 \cdot m \cdot (v/n_M)^2 = 91,2 \cdot 1000 \text{kg} \cdot \left(\frac{0,8 \text{ m/s}}{1450 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0,02736 \text{ kgm}^2$
Koppels	
Nominaal koppel	Volgens de motor gegevens van SEW is het nominaal koppel (MN) aangegeven als motor torque: 250Nm, en het motorvermogen (PN) 2,2kW. Wanneer we met het uitgaande toerental NM en het motorvermogen de formule invullen volgt hieruit: $M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_M} = \frac{2,2 \text{ kW} \cdot 9550}{1450 \text{ min}^{-1}} = 14,49 \text{ Nm}$
aanlooptkoppel	Het uitgaand koppel MH is volgens de documentatie is 250 Nm, en de overbrengverhouding (overall gear ratio) is 17,33. Wanneer deze waarde wordt ingevuld in de formule zoals genoemd in het rekenvoorbeeld komen we op een aanlooptkoppel $M_H = 17,33 \cdot 250 = 4332,5 \text{ Nm}$ Wanneer we de waarde van het motor koppel uit de documentatie neem komen we op een verhouding nominaal-aanlooptkoppel $M_H = 4332,5 = 299 \text{ N}$ $M_N = 14,49$
Lastkoppel onbeladen	$M_L = \frac{F_F \cdot v \cdot 9,55}{n_M} = \frac{188,6 \text{ N} \cdot 0,8 \text{ m/s} \cdot 9,55}{1450 \text{ min}^{-1}} = 0,99 \text{ Nm}$
Lastkoppel beladen	$M_L = \frac{F_F \cdot v \cdot 9,55}{n_M} = \frac{264 \text{ N} \cdot 0,8 \text{ m/s} \cdot 9,55}{1450 \text{ min}^{-1}} = 1,39 \text{ Nm}$

Aanlooptijd in lege toestand

$$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta} \right)}{9,55 \cdot (M_H - M_L)} = \frac{0,000139 + \frac{0,02736 \text{ kgm}^2}{0,86} \cdot 1450 \text{ rpm}}{9,55 \cdot (3,7 - 0,25)} = \frac{46,36}{32,95} = 1,4 \text{ s}$$

Aanloopversnelling in lege toestand:

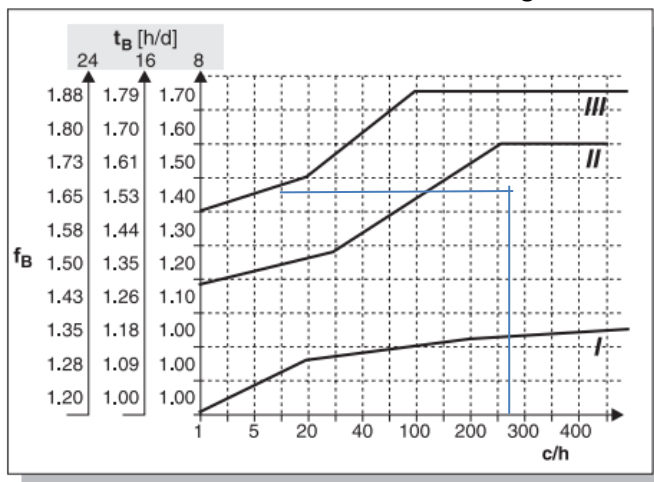
$$a_A = v/t_A \quad a_A = 0,8 / 1,4 = 0,57 \text{ m/s}$$

De aanloopversnelling in lege toestand is ontoelaatbaar hoog. Met een verhoogd massa traagheidsmoment van de motor bijv. door het gebruik van een reductor, kan de versnelling verminderd worden. Dit gaat echter ten koste van de toelaatbare schakelfrequentie. De keuze van een kleinere motor kan de versnelling eveneens verminderen.

Berekening van de reductor:

Uitgaand toerental	$N_a = 19,1 \cdot 10^3 \cdot v/D \cdot i_v = 19,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,8\text{m/s}}{300\text{mm}} \cdot 17 = 80,68 \text{ min}^{-1}$
reductoroverbrenging	$i = \frac{n_m}{n_a} = \frac{1450 \text{ min}^{-1}}{80,68 \text{ min}^{-1}} = 17,97$

Bedrijfsfactor: Bij bedrijf met 12 uren/dag en 60 ritten/uur, dus 120 aanloop- en remprocessen per uur wordt met behulp van de afbeelding “Noodzakelijke bedrijfsfactor f_B ” in het hoofdstuk “Reductoren” de volgende bedrijfsfactor bepaald:



Figuur 7 noodzakelijke bedrijfsfactor f_B voor p-reductoren

T_B = Bedrijfstijd in uren/dag (h/d)

c/h = aantal schakelingen per uur

Tot schakelingen horen alle aanloop- en remprocessen, evenals omschakelingen van lage naar hoge toerentallen en omgekeerd.

$\frac{J_x}{J_M + J_Z} = \frac{0,02736 \text{ kgm}^2}{(0,000139 + 0,02) \text{ kgm}^2} = 1,36 \Rightarrow$ Stootgraad II
$f_B = 1,43 \Rightarrow$ <i>deze is herleid uit figuur 7</i>

Stootgraad

- I gelijkvormig, toelaatbare massaversnellingsfactor $\leq 0,2$
- II ongelijkvormig, toelaatbare massaversnellingsfactor ≤ 3
- III sterk ongelijkvormig, toelaatbare massaversnellingsfactor ≤ 10

Gekozen vermogen	Het gekozen vermogen voor het berekenen van de reductor is principieel het nominale motorvermogen.
Uitgaand koppel	$M_a = \frac{P_n \cdot 9550}{n_a} = \frac{2,2 \text{ kW} \cdot 9550}{80,7} = 260 \text{ Nm}$

Als we deze gegevens weer invoeren op de site <https://www.seweurodrive.nl/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx> dan wordt de volgende reductor voorgesteld:

Gevraagde typeaanduiding: Zoekopdracht

Ontwerp van de tandwielkast:

Motortype:

Land van gebruik:

Motorvermogen P [kW] / Koppel Ma [Nm]:

Uitgangssnelheid nvt [1/min] / Overbrengingsverhouding i:

Servicefactor fB:


Internationale efficiëntieklasse (IE):

Aantal Polen:

Duurfactor:

Bijzonder lage uitvoersnelheden:

Werking frequentieomvormer



Zoekresultaten

Aanwijzing	efficiëntie klasse	P [kW]	geen [1/min]	Ma [Nm]	i	fB	nMot [1/min]	Cyclische duurfactor	PLCM
R57DRN100LS4	IE3	2,2	54	390	26,97	1,15	1450	S1-100%	

Dus de passende reductor: R57 met $n_a = 80,7 \text{ min}^{-1}$ en $M_{a\text{max}} = 260 \text{ Nm}$

Daarmee bedragen het uitgaande koppel M_a (betrokken op het nominale vermogen van de motor), bedrijfsfactor f_B en radiale belasting F_Q :

Uitgaand koppel	$M_a = \frac{2,2 \cdot 9550}{80,7} = 260 \text{ Nm}$
Bedrijfsfactor	$f_B = \frac{188,6 \text{ Nm}}{260 \text{ Nm}} = 0,7$
Radiale kracht	$F_Q = \frac{M_a \cdot 2000}{l_v} \cdot f_z = \frac{(260 \cdot 2000)}{1,59} \cdot 1,25 = 3445,2 \text{ N}$

Het aantal tanden van de overbrenging is < 20 , dus $F_z = 1,25$, zie figuur 8.

Rollende wrijving (rolweerstandarm)

Combinatie	Rolweerstandarm	
staal op staal	$f \approx 0,5 \text{ mm}$	
hout op staal (rollenbaan)	$f \approx 1,2 \text{ mm}$	
kunststof op staal	$f \approx 2 \text{ mm}$	
hard rubber op staal	$f \approx 7 \text{ mm}$	
kunststof op beton	$f \approx 5 \text{ mm}$	
hard rubber op beton	$f \approx 10 - 20 \text{ mm}$	
middelhard rubber op beton	$f \approx 15 - 35 \text{ mm}$	
Vulkollan® op staal	$\varnothing 100 \text{ mm}$	$f = 0,75 \text{ mm}$
	$\varnothing 125 \text{ mm}$	$f = 0,9 \text{ mm}$
	$\varnothing 200 \text{ mm}$	$f = 1,5 \text{ mm}$
	$\varnothing 415 \text{ mm}$	$f = 3,1 \text{ mm}$

Let op! Weerstandarm van rollende wrijving is sterk fabrikantafhankelijk, en afhankelijk van de vorm en de temperatuur.

Figuur 8

Hiermee staat de aandrijving vast: R57DRN 100 LS4

Conclusie:

Om voor rijwerk met een totaal gewicht van 4000kg in beweging te kunnen brengen, rekening houdend met de gegeven getallen, is het mogelijk om met de site van SEW een geschikte motor te selecteren.

Bij deze site is het een kwestie van deze gegevens in te voeren. Uiteraard zijn er een aantal gegevens die eerst berekend moeten worden. Al met al moet er toch nog wel redelijk wat rekenwerk verricht worden.

Aanbeveling:

Om een motor te selecteren is het raadzaam om van te voren te bekijken wat de parameters zijn, hoe groot de belasting is en hoeveel en hoe vaak er geschakeld moet worden. Dit geeft een wezenlijk verschil in uitkomst. Om een juiste motor te vinden zijn er verschillende tools te vinden maar blijft het toch lastig om de juiste keuze te maken. Het advies is om zeker de expertise van een accountmanager te raadplegen of via de site van SEW contact op te nemen met de leverancier voor een gedegen advies.

Legenda van tekens:

F	kracht	N
F _F	rijweerstand	N
F _G	gewichtskracht	N
F _N	normaalkracht loodrecht op de ondergrond	N
F _Q	radiale kracht	N
F _R	wrijvingskracht	N
F _S	weerstandkracht (heeft invloed op het statisch vermogen)	N
g	zwaartekrachtversnelling: 9,81 (constante)	m/s ²
i	reductoroverbrengingsverhouding	–
i _V	overbrengingsverhouding open overbrenging	–
J	massatraagheidsmoment	kgm ²
J _L	massatraagheidsmoment van de last	kgm ²
J _M	motormassatraagheidsmoment	kgm ²
J _X	lastmassatraagheidsmoment, gereduceerd op de motoras	kgm ²
J _Z	extra massatraagheidsmoment (verzwaarde ventilator)	kgm ²
K _J /K _M /K _P	rekenfactoren ter bepaling van de schakelfrequentie Z	–
L _B	remstandtijd (tot nastellen)	h
m	massa	kg
m ₀	eigen massa = massa zonder toegevoegde nuttige last	kg
m _L	massa van de last	kg

M	koppel	Nm
M _a	koppel aan de uitgaande as	Nm
M _B	remkoppel	Nm
M _H	gemiddeld aanloopkoppel	Nm
M _K	kipkoppel	Nm
M _L	statisch motorkoppel van de last (zonder η)	Nm
M _N	nominaal koppel	Nm
M _S	statisch koppel (met η)	Nm
M _U	omschakelkoppel van hoog naar laag toerental bij pool- talomschakelbare motoren	Nm
μ	wrijvingscoëfficiënt glijdende wrijving	–
μ_0	wrijvingscoëfficiënt rustwrijving	–
μ_L	lagerrolweerstandcoëfficiënt	–
n	toerental	min ⁻¹
n _a	uitgaand toerental reductor	min ⁻¹
n _M	motortoerental	min ⁻¹

Bronnen:

Hoek, van, R., & Scheltinga, L. (2015). *Elektrotechniek voor werktuigbouwkundigen en andere technici*. Groningen: Noordhof uitgevers.

How to Properly Select a Gearbox for Any Application

<https://www.youtube.com/watch?v=R7OCYtOpu5k>

GEARBOX SELECTION TOOL <https://www.youtube.com/watch?v=6MITnyAWAxQ>

SEW Eurodrive. (2001, 11 01). Het selecteren van aandrijvingen. *Aandrijftechniek in de praktijk 1052 2972*. Nederland.

SEW Eurodrive. (2021, 12 02). Opgehaald van Application selection:

<https://www.seweurodrive.nl/os/ds/driveselection/applicationselection>

Individuele beoordeling:

Onderdeel	Goed (3 punten)	Voldoende (1 punt)	Onvoldoende (0 punten)	Score:
Detail-ontwerp	Benoemd meer dan 6 hoofdaspecten en deelaspecten van het ontwerp	Benoemd 4-6 hoofdaspecten en/of deelaspecten van het ontwerp of deze zijn zwak of niet in samenhang met elkaar	Aspecten en / of deelaspecten zijn niet of niet duidelijk herkenbaar verwerkt; of: aspecten zijn aanwezig maar "open deuren" of: onderbouwing zwak	
Ontwerp	Er is een gedetailleerd uitgewerkt ontwerp waarin ontwerpkeuzes onderbouwd zijn	Het ontwerp is op hoofdlijnen of in details uitgewerkt maar er ontbreken onderdelen of: ontwerpkeuzes zijn zwak / niet onderbouwd	Het ontwerp is niet samenhangend of fragmentarisch. Onderbouwing is overwegend zwak.	
Onderbouwing van keuzes	Keuzes zijn goed en uitgebreid onderbouwd	Keuzes zijn enigszins toegelicht of er zijn ontbreken nog twee of meer onderbouwingen	Onderbouwing is zwak of niet compleet of meer dan 5 plekken niet onderbouwd	
Berekeningen	Er zijn diverse, 6 of meer, relevante berekeningen van belangrijke parameters uitgewerkt en in samenhang met elkaar gebracht. Zo mogelijk zijn	Er zijn diverse, 3 of meer relevante berekeningen van parameters uitgewerkt en in samenhang met elkaar gebracht.	Er zijn 2 of minder berekeningen, óf berekeningen zijn niet correct, óf de samenhang is niet beschreven.	

	berekeningen gebruikt met aannemelijke getallen.			
Parameters	Alle relevante parameters zijn aanwezig en er zijn relevante parameters toegevoegd op overzichtelijke en samenhangende wijze gepresenteerd.	Er ontbreken 2-4 belangrijke parameters die belangrijk en/of relevant zijn, óf samenhang is beperkt óf presentatie is onoverzichtelijk.	Diverse parameters ontbreken, weinig eigen zinvolle parameters toegevoegd of weinig overzichtelijk gepresenteerd of zonder samenhang bijeengebracht (losstaande elementen, geen rode draad)	
Conclusies en aanbevelingen	Conclusies zijn getrokken en komen geheel overeen met de uitwerkingen in het verslag; er zijn zinvolle aanbevelingen gedaan aan de opdrachtgever. Conclusies zijn zonder uitzondering sterk.	Conclusies zijn getrokken maar niet geheel in overeenstemming met het onderwerp of het verslag óf aanbevelingen zijn weinig zinvol dan wel nogal voor de hand liggend. Conclusies zijn meer sterk dan zwak te noemen.	Conclusies zijn nauwelijks getrokken op basis van het hele werkstuk óf meerdere conclusies komen alleen in dit onderdeel voor óf meerdere conclusies zijn niet juist. Conclusies zijn meer zwak dan sterk te noemen.	
Literatuur	Er is literatuur van diverse aard én met voldoende betrouwbaarheid benoemd en duidelijk ook benut in het verslag. Tenminste 6 bronnen zijn gebruikt.	Er is literatuur van diverse aard én met voldoende betrouwbaarheid benoemd en duidelijk ook benut in het verslag. Tenminste 5 bronnen zijn gebruikt.	Eenzijdige literatuur of van discutabele betrouwbaarheid of niet in het verslag terug te vinden in samenhang met de tekst. Of er zijn minder dan 4 bronnen benut van voldoende betrouwbaarheid / niveau.	

Tabellenbijlage:

Rendementen van overbrengingselementen

Overbrengingselement	Voorwaarden	Rendement
draadkabel	per volledige omspanning van de draadschijf (met glij- of wentellagers)	0,91 – 0,95
v-riem	per volledige omspanning van het v-riemwiel (normale riemspanning)	0,88 – 0,93
kunststof banden	per volledige omspanning/rollen met wentellagers (normale bandspanning)	0,81 – 0,85
rubberen banden	per volledige omspanning/rollen met wentellagers (normale bandspanning)	0,81 – 0,85
tandriem	per volledige omspanning/rollen met wentellagers (normale bandspanning)	0,90 – 0,96
ketting	per volledige omspanning/wielen met wentellagers (afhankelijk van de grootte van de ketting)	0,90 – 0,96
reductor	oliesmering, 3-traps (parallele assen), afhankelijk van reductorkwaliteit; bij worm- en kegelwielreductoren: volgens opgave van de fabrikant	0,94 – 0,97

Lagerwrijvingscoëfficiënt

Lager	Wrijvingscoëfficiënt
wentellagers	$\mu_L = 0,005$
glijlagers	$\mu_L = 0,08^{-1}$

Wrijvingswaarden voor spoorkrans- en wielwrijving

Spoorkrans en wielwrijving	Wrijvingswaarde
wielen met wentellagers	$c = 0,003$
wielen met glijlagers	$c = 0,005$
dwanggeleide rollen	$c = 0,002$

Wrijvingscoëfficiënten van verschillende materiaalcombinaties

Combinatie	Soort wrijving	Wrijvingscoëfficiënt
staal op staal	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,12 - 0,60$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,08 - 0,50$
	rustwrijving (vet)	$\mu_0 = 0,12 - 0,35$
	glijdende wrijving (vet)	$\mu = 0,04 - 0,25$
hout op staal	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,45 - 0,75$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,30 - 0,60$
hout op hout	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,40 - 0,75$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,30 - 0,50$
kunststof riem op staal	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,25 - 0,45$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,25$
staal op kunststof	glijdende wrijving (droog)	$\mu_0 = 0,20 - 0,45$
	glijdende wrijving (vet)	$\mu = 0,18 - 0,35$

Rollende wrijving (rolweerstandarm)

Combinatie		Rolweerstandarm	
staal op staal		$f \approx 0,5 \text{ mm}$	
hout op staal (rollenbaan)		$f \approx 1,2 \text{ mm}$	
kunststof op staal		$f \approx 2 \text{ mm}$	
hard rubber op staal		$f \approx 7 \text{ mm}$	
kunststof op beton		$f \approx 5 \text{ mm}$	
hard rubber op beton		$f \approx 10 - 20 \text{ mm}$	
middelhard rubber op beton		$f \approx 15 - 35 \text{ mm}$	
Vulkollan® op staal	Ø 100 mm	$f \approx 0,75 \text{ mm}$	Let op! Weerstandarm van rollende wrijving is sterk fabrikantafhankelijk, en afhankelijk van de vorm en de temperatuur.
	Ø 125 mm	$f \approx 0,9 \text{ mm}$	
	Ø 200 mm	$f \approx 1,5 \text{ mm}$	
	Ø 415 mm	$f \approx 3,1 \text{ mm}$	

Spilrendementen

Spil	Rendement
trapeziumschroefdraad afhankelijk van spoed en smering	$\eta = 0,3 \dots 0,5$
kogelomloopspil	$\eta = 0,8 \dots 0,9$

Literatuurverwijzing

- DIN/VDE 0113* Bepalingen voor de elektrische uitrusting van bewerkings- en verwerkingsmachines met een nominale spanning tot 1000 V.
- EN 60034* Bepalingen voor roterende elektrische machines.
- Dubbel* Handboek voor de Machinebouw, Band I und II.
- SEW* Handboek voor de Aandrijftechniek.
- SEW* Gegevens van de fabriek.