

Toetstaak aandrijving bovenloopkraan

Het berekenen en beredeneren van de juiste aandrijving voor een kat en takel van een bovenloopkraan.

Quinten Dumez

SNR: 00077719

Instituut: HZ University of Applied Sciences

Studie: Engineering

Cursus: Electrical Drive Technology CU22135

Docent: P. van der Heide

Datum: 13-01-2019

2312 woorden

Inhoudsopgave

Opbouw bovenloopkraan	4
Specificatie kraan	4
Benodigde formules	5
Casus I: Onderdeel Kat	5
I.1 Kracht-snelheid karakteristiek kat	5
I.2 Dominante kracht-snelheid karakteristiek	5
I.3 Versnellingskracht wanneer de kat in 1 seconde moet versnellen tot 6 [m/min].	6
I.4 Versnellingskracht wanneer de kat in 4 seconden moet versnellen tot 24 [m/min].	6
I.5 Totale kracht nodig om de kat in beweging te brengen tot een snelheid van 24 [m/min] vanuit stilstand.....	6
Casus II: Onderdeel hijsmechanisme	7
II.1 Benodigd vermogen motor	7
II.2 Koppel en toerental voor de motor/trommel	8
II.3 Kooiankermotor kiezen en overbrengverhouding bepalen.....	9
II.4 Losbreekkoppel bepalen.	10
II.5 Acceleratiekoppel bepalen.....	11
II.6 Aanloopkoppel bepalen van stilstand naar bedrijfspunt.....	11
II.7 Opnieuw een 3 fase motor kiezen (zie II.3).....	11
II.8 Maximaal toegestane temperatuur bepalen	12
II.9 Nieuwe levensduur bepalen.....	12
II.10 Maximaal vermogen bij omgevingstemperatuur.	12
II.11 Stroom per fase.	13
II.12 Verliezen in de stator	13
II.13 Verliezen in de rotor.	13
II.14 Totale verliezen en rendement.....	14
II.15 Totale verliezen en rendement na aanpassing	14
II.16 Besparingen op maatregelen.....	15

Casus III: Onderdeel ventilator	16
III.1 Snelheid ventilator zonder frequentieregelaar.....	16
III.2 Netfrequentie motor met regelaar	17
III.3 Lastgeval ventilator en benodigd vermogen	17
III.4 Totale verliezen van motor en rendement	17
III.5 Besparingen op maatregelen	18
Bijlage 1	19
Bibliografie.....	24

Opbouw bovenloopkraan

De bovenloopkraan is opgebouwd uit 3 elementen. De draagbalken, de liggers en de kat. De draagbalken ondersteunen de liggers en beweging hierover wordt “kranen” genoemd. De kat bevindt zich op de twee liggers en beweging wordt “rijden” genoemd. Het rijden is hierdoor een haakse beweging ten opzichte van het kranen.

De kat wordt aangedreven door 2 identieke motoren. Deze motoren drijven wielblokken aan die bestaan uit een overbrenging en wielen. Aan de kat is het hijsmechanisme bevestigd. Dit zorgt voor de verticale verplaatsing van de last. Een hijsmotor op de kat drijft de trommel aan, die de staalkabel oprolt.

Specificatie kraan

De eisen van de klant zijn gespecificeerd in de volgende tabellen.

Tabel 1

De dimensionering van de bovenloopkraan met de bijbehorende eenheden.

	Hoeveelheid	Eenheid
Maximale last	32	Ton
Massa kat	1600	kg
Lengte liggers	12	Meter
Diameter Wiel	250	mm
Diameter Trommel	500	mm
Rijsnelheid	25	Meter per minuut
Hijssnelheid	0,186	Meter per seconde
Aanlooptijd hijsen	4	Seconden
Rolweerstand coëfficiënt wielen	0,069	-
Rolweerstand coëfficiënt Trommel	0,0006	-

Benodigde formules

Snelheid

$$v = r \cdot \omega$$

Acceleratie

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}$$

Rolweerstand

$$F_r = C_r \cdot F_N$$

Acceleratiekracht

$$F = m \cdot a$$

Normaalkracht

$$F_N = m \cdot g$$

Vermogen

$$P = F \cdot v$$

Koppel (1)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Koppel (2)

$$T = F \cdot r$$

Lostrekkoppel

$$T_{los} = \frac{T_{nom}}{100} \cdot T_{start}[\%]$$

Aanloopkoppel

$$T_{aanloop} = T_{lostrek} + T_{acc} + T_{last}$$

Vermogen

$$P = T \cdot \omega$$

Derating

$$P = \frac{P_{cold}}{100} \cdot derating\ adjustment$$

Levensduur

$$D_t = D_{t_{max}} \cdot 2^{\frac{(T_{max}-T)}{8}}$$

Lijnstroom

$$I_{lijn} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{lijn} \cdot \cos\phi}$$

Casus I: Onderdeel Kat

I.1 Kracht-snelheid karakteristiek kat

De kat is een rijdend object met een relatief lage snelheid. De kat mag beschouwd worden als een constante last, omdat de last niet groter wordt bij een hoger toerental. De luchtweerstand die normaal wordt ondervonden bij een rijdende last is te verwaarlozen vanwege de lage snelheid.

Vanuit stilstand zal de aandrijving mogelijk een iets hogere last ervaren. Dit heeft als reden dat het loopvlak van de liggers is gebogen naar de vorm van de wielen. Hierdoor zal een kort moment een omgekeerd evenredige last te merken zijn bij het weggrijpen.

I.2 Dominante kracht-snelheid karakteristiek

Een constant koppel zal dominant zijn bij het rijden van de kat.

I.3 Versnellingskracht wanneer de kat in 1 seconde moet versnellen tot 6 [m/min].

De formule voor acceleratie is:

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}$$

$$a = \frac{0,1 - 0}{1} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

De formule voor acceleratiekracht is:

$$F = m \cdot a$$

$$F = 32.000 \cdot 0,1$$

$$F = 3.200 \text{ N}$$

I.4 Versnellingskracht wanneer de kat in 4 seconden moet versnellen tot 24 [m/min].

Het evenredig aanpassen van de snelheid en tijd zal geen invloed hebben op de versnelling.

$$a = \frac{0,4 - 0}{4} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

I.5 Totale kracht nodig om de kat in beweging te brengen tot een snelheid van 24 [m/min] vanuit stilstand.

Eerst wordt de versnellingskracht uitgerekend.

$$F = m \cdot a$$

$$F = 33.600 \cdot 0,1$$

$$F = 3.360 \text{ N}$$

Naast de versnellingskracht ondervindt de kat ook rolweerstand. Deze kracht moet ook berekend en opgeteld worden bij de versnellingskracht. Eerst dient de normaalkracht uitgerekend te worden:

$$F_N = m \cdot g$$

$$F_N = 33.600 \cdot 9,81$$

$$F_N = 329.616 \text{ N}$$

Daarna kan deze gebruikt worden om de rolweerstand uit te rekenen.

$$F_r = C_r \cdot F_N$$

$$F_r = 0,069 \cdot 329.616$$

$$F_r = 22.743,5 \text{ N}$$

Opvallend is dat de rolweerstand meer dan 7 keer groter is dan de versnellingskracht. Een besparing op de aandrijving kan dus mogelijk gemaakt worden, door de rolweerstand te verlagen. Dit is een constructieve aanpassing en zal dus niet verder behandeld worden in deze opdracht.

De som van versnellingskracht en rolweerstand geeft de totale kracht die nodig is om de kat te versnellen tot 24 m/min.

$$F_{\text{totaal}} = F_{\text{acc}} + F_r$$

$$F_{\text{totaal}} = 3.360 + 22.743,5$$

$$F_{\text{totaal}} = 26.103,5 \text{ N}$$

Casus II: Onderdeel hijsmechanisme

In deze casus wordt gebruik gemaakt van meer variabelen. Deze zijn in tabel 2 gedefinieerd.

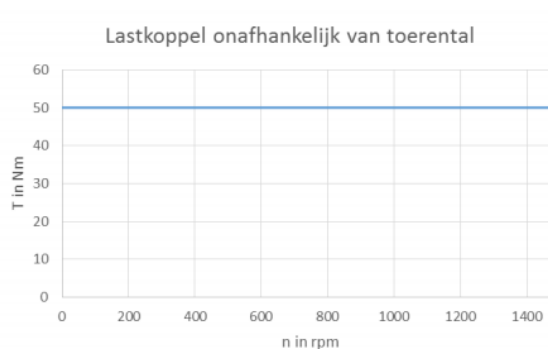
Tabel 2

Extra variabelen met betrekking tot de hijsmotor met de bijbehorende eenheden.

		Hoeveelheid	Eenheid
Isolatieklasse motor		B	-
Omgevingstemperatuur		45	° C
Motortemperatuur		135	° C
IJzerverliezen		2300	W
Statorweerstand	Per wikkeling	0,027	Ohm

II.1 Benodigd vermogen motor

Het benodigd vermogen is afhankelijk van de last. De last is in de situatie van het hijsmechanisme constant. (zie figuur 1).



Figuur 1: Koppel-toeren curve van constante last

Vervolgens moet de kracht berekend worden, die nodig is om de last met een constante snelheid op te hijsen. Hierbij is eerst de normaalkracht van de last vereist.

$$F_N = m \cdot g$$

$$F_N = 32.000 \cdot 9,81$$

$$F_N = 313.920 \text{ N}$$

Echter heeft de trommel ook een rolweerstand. Deze zal ook nog extra kracht vereisen. Deze kan worden uitgerekend met de formule voor rolweerstand.

$$F_r = C_r \cdot F_N$$

$$F_r = 0,0006 \cdot 313.920$$

$$F_r = 188 \text{ N}$$

Vervolgens kan het vermogen uitgerekend worden dat vereist is om de last te hijsen.

$$P = (F_N + F_r) \cdot v$$

$$P = (313.920 + 188) \cdot 0,186$$

$$P = 58.424 \text{ Watt}$$

II.2 Koppel en toerental voor de motor/trommel

Het toerental kan berekend worden door de snelheid en de radius van de trommel om te zetten naar de hoeksnelheid. Deze wordt vervolgens omgezet naar een toerental.

$$v = r \cdot \omega$$

$$0,186 = 0,25 \cdot \omega$$

$$\omega = 0,744$$

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2 \cdot \pi}$$

$$n = \frac{0,744 \cdot 60}{2 \cdot \pi}$$

$$n = 7,1 \text{ rpm}$$

Het koppel kan berekend worden met de volgende formule:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{58.424}{0,744}$$

$$T = 78.527 \text{ Nm}$$

II.3 Kooiankermotor kiezen en overbrengverhouding bepalen

De kooiankermotor moet een 3 fase motor zijn en er moet rekening gehouden worden met de toepassing van een tweetrapstandwielkast.

De tandwielkast kan het vereiste motorkoppel verlagen en het toerental omgekeerd evenredig verhogen. Een trap in de tandwielkast mag maximaal een overbrengingsverhouding van 6,3 bevatten. In geval van een tweetrapstandwielkast zou dit dus een maximale overbrengingsverhouding $[i]$ van 40 mogen zijn. Iedere trap heeft een verlies van 2%, in dit geval dus 4% totaal.

De gewenste snelheid van de trommel is 7,1 [rpm] volgens de berekening in II.2. De maximale motorsnelheid kan dan berekent worden door de overbrengingsverhouding te vermenigvuldigen met de gewenste snelheid van de trommel.

$$n_{motor} = i \cdot n_{trommel}$$

$$n_{motor} = 40 \cdot 7,1$$

$$n_{motor} = 284 \text{ rpm}$$

In de catalogus (ABB, 2016) is geen motor verkrijgbaar met een dergelijk laag toerental. Dit heeft als gevolg dat er niet aan alle specificaties voldaan kan worden en daardoor de keuze voor een tandwielkast met meer trappen gemaakt moeten worden.

Een motor met 12 poolparen heeft een toerental van 493 [rpm], kost meer dan €6000,-. Een motor met 2 poolparen heeft een toerental van 2969 [rpm], maar kost ongeveer €3000,-. In tegendeel heeft de 2-polige motor een tandwieloverbrenging met een extra trap nodig. Het verschil in aanschafkosten tussen een twee- en drietrapstandwielkast is bijna te verwaarlozen.

Het is belangrijk om af te wegen of de onderhoudskosten hoger zijn dan de aanschafkosten. Aangezien de bovenloopkraan relatief weinig draaiuren zal ervaren, zullen de onderhoudskosten lager zijn. Het levert daardoor niet op om een 12-polige motor te gebruiken, enkel om 1 trap uit te sparen. De keuze gaat dus uit naar een 2-polige motor met een vermogen van 75 kW. De productcode van deze motor is: 3GBP221230. Deze motor is iets meer dan 15 kW over gedimensioneerd.

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{trommel}} \quad n = \log_{6,3}(i) \quad verlies = n_{trappen} \cdot 2\%$$

$$i = \frac{2969}{7,1} \quad n = \log_{6,3}(418) \quad verlies = 4 \cdot 2\%$$

$$i = 418 \quad n = 3,28 \approx 4 \text{ trappen} \quad verlies = 8\%$$

De tandwieloverbrenging zal een rendement van 92% hebben. Deze 8% is door de overdimensionering geen probleem.

II.4 Losbreekkoppel bepalen.

Het losbreekkoppel van een hijswerktuig is 100-110%, volgens de volgende bron (Agrawal, 2001) Tabel 2.3 figuur 2.13.

Table 2.3 Types of loads and their characteristics

Serial no.	Load	Characteristics of load	Starting torque	Opposing torque with speed	Figure no.
1	Presses, punches, latches and drilling machines	–	Light duty 20–30%	Torque remains constant and at a very low value, since the load is applied when the motor has run to speed	2.10
2	Fans, blowers, centrifugal pumps and compressors	The power is proportional to the third power of the speed ($P \propto N^3$)	Medium duty 10–40%	Torque rises with square of the speed ($T \propto N^2$)	2.11
3	Rolling mills, ball mills, hammer mills, calendar drives and sugar centrifuges	The power is proportional to the square of the speed ($P \propto N^2$)	Heavy duty 30–40%. May be more and have to accelerate large masses of heavy moment of inertia, requiring a prolonged time of start-up	Near full-load torque	2.12
4	Conveyors and hoists	The power is proportional to the speed ($P \propto N$)	Heavy duty 100–110%	Torque remains constant throughout the speed range and at almost the full-load torque	2.13

Figuur 2: Verschillende type belastingen en hun losbreekkoppels

Het nominale koppel is in II.2 uitgerekend op 78.527 [Nm].

$$T_{losbreek} = \frac{T_{nom}}{100} \cdot T_{start}[\%]$$

$$T_{losbreek} = \frac{78527}{100} \cdot 10\%$$

$$T_{losbreek} = 7.852,7 \text{ Nm}$$

II.5 Acceleratiekoppel bepalen.

Allereerst dient de versnelling uitgerekend te worden. Dit wordt gedaan met behulp van de gewenste snelheid en de aanlooptijd.

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}$$

$$a = \frac{0,186 - 0}{4}$$

$$a = 0,0465 \text{ m/s}^2$$

De versnellingskracht kan worden berekend met de massa en de gewenste versnelling die bij II.5 is berekend.

$$F = m \cdot a$$

$$F = 32.000 \cdot 0,0465$$

$$F = 1488 \text{ N}$$

Het acceleratiekoppel kan bepaald worden door de versnellingskracht te vermenigvuldigen met de radius van de trommel. Deze is 250 mm.

$$T = F \cdot r$$

$$T = 1488 \cdot 0,25$$

$$T = 372 \text{ Nm}$$

II.6 Aanloopkoppel bepalen van stilstand naar bedrijfspunt.

Het aanloopkoppel wordt berekend door het lostrekkoppel, acceleratiekoppel en lastkoppel bij elkaar op te tellen.

$$T_{aanloop} = T_{lostrek} + T_{acc} + T_{last}$$

$$T_{aanloop} = 7.852,7 + 372 + 78.527$$

$$T_{aanloop} = 86.751,7 \text{ Nm}$$

II.7 Opnieuw een 3 fase motor kiezen (zie II.3).

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 86.715,7 \cdot 0,744$$

$$P = 64.516,5 \text{ W}$$

II.8 Maximaal toegestane temperatuur bepalen

De maximale temperatuurgrens van een motor met isolatieklasse B is 130 °C volgens (Rotor B.V.).

Isolatieklasse	A	E	B	F	H	F*
Temperatuurgrens	105°C	120°C	130°C	155°C	180°C	155°C
Max. temperatuur van de wikkeling	100°C	115°C	120°C	145°C	165°C	145°C
Omgevingstemperatuur voor landinstallaties	40°C	40°C	40°C	40°C	40°C	40°C
Maximum T (k) van de statorwikkeling	60 K	75 K	80 K	105 K	125 K	80 K + 25 K
Extra thermische reserve						

Figuur 3: Verschillende temperaturen per isolatieklasse.

II.9 Nieuwe levensduur bepalen.

Notitie uit opdracht:

De oude levensduur was 7 jaar.

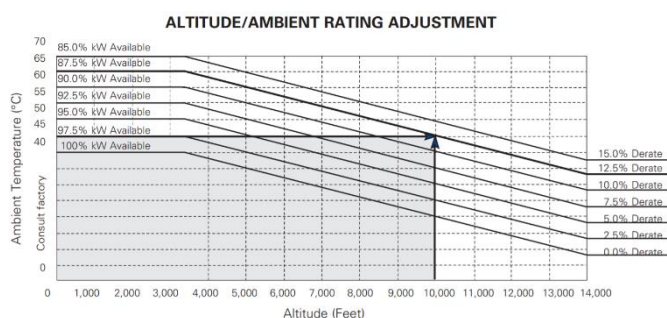
$$D_t = D_{t_{max}} \cdot 2^{\frac{(T_{max}-T)}{8}}$$

$$D_t = 7 \cdot 2^{\frac{(130-135)}{8}}$$

$$D_t = 4,54 \text{ jaar}$$

II.10 Maximaal vermogen bij omgevingstemperatuur.

De site van (Marathon Generators) voorziet een tabel waar de derating van de motor in weergegeven staat. Hier staat beschreven dat een motor met een omgevingstemperatuur van 45°C een vermogen heeft van 97,5%.



$$P = \frac{P_{cold}}{100} \cdot \text{derating adjustment}$$

$$P = \frac{65 \text{ kW}}{100} \cdot 97,5\%$$

$$P = 63,375 \text{ kW}$$

Figuur 4: De derating waardes bij verschillende omgevingstemperaturen.

II.11 Stroom per fase.

$$I_{lijn} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{lijn} \cdot \cos\varphi}$$

$$I_{lijn} = \frac{65.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,84}$$

$$I_{lijn} = 111,7 \text{ A}$$

II.12 Verliezen in de stator

$$P_{Jstator} = I_1^2 \cdot R_1 \cdot 3$$

$$P_{Jstator} = 111,7^2 \cdot 0,027 \cdot 3$$

$$P_{Jstator} = 1011 \text{ W}$$

IJzerverliezen zijn gedefinieerd op 2,3 kW.

$$P_{statorverlies} = P_{Jstator} + P_{ijzer}$$

$$P_{statorverlies} = 1011 \text{ W} + 2300 \text{ W}$$

$$P_{statorverlies} = 3311 \text{ W}$$

II.13 Verliezen in de rotor.

De verliezen in de rotor zijn een som van de ijzerverliezen en jouleverliezen.

$$Ijzerverliezen \text{ rotor} = Ijzerverliezen \text{ totaal} \cdot 1\%$$

$$Ijzerverliezen \text{ rotor} = 2300 \cdot 1\%$$

$$Ijzerverliezen \text{ rotor} = 23 \text{ W}$$

$$P_{Jrotor} = I_2^2 \cdot R_2 \cdot 3$$

$$P_{Jrotor} = 111,7^2 \cdot 0,027 \cdot 3$$

$$P_{Jrotor} = 1011 \text{ W}$$

II.14 Totale verliezen en rendement.

Het totale verlies is de som van de stator- en rotorverliezen. Het rendement is het verschil tussen het asvermogen en elektrisch vermogen (P_{in}).

$$Verlies = P_{statorverlies} + P_{rotorverlies}$$

$$Verlies = 3311 + 1035$$

$$Verlies = 4346 \text{ W}$$

$$Rendement = \frac{P_{as}}{P_{in}}$$

$$Rendement = \frac{75000}{79346}$$

$$Rendement = 0,945$$

Vanaf hier worden de casus aangepast van een kooianker rotor naar een magneetrotor

II.15 Totale verliezen en rendement na aanpassing

Zodra de rotor vervangen wordt door een magneetrotor zullen de rotorverliezen 0 worden.

Hierdoor zal de motor minder verliezen hebben.

$$Verlies = P_{statorverlies} + P_{rotorverlies}$$

$$Verlies = 3311 + 0$$

$$Verlies = 3311 \text{ W}$$

$$Rendement = \frac{P_{as}}{P_{in}}$$

$$Rendement = \frac{75000}{78311}$$

$$Rendement = 0,958$$

II.16 Besparingen op maatregelen.

Notitie uit opdracht:

Bij een gebruik van 110 [uur per jaar] en een stroomprijs van 0,11 [€ per kWh].

De besparing is te berekenen door het rendement met en zonder magneetrotor te vergelijken en het verschil te bepalen.

$$P_{oud} = \frac{P}{rendement}$$

$$P_{oud} = \frac{64,5}{0,945}$$

$$P_{oud} = 68,25 \text{ kW}$$

$$P_{nieuw} = \frac{P}{rendement}$$

$$P_{nieuw} = \frac{64,5}{0,958}$$

$$P_{nieuw} = 67,33 \text{ kW}$$

$$P_{verschil} = P_{oud} - P_{nieuw}$$

$$P_{verschil} = 68,25 - 67,33$$

$$P_{verschil} = 0,92 \text{ kW} = 920 \text{ W}$$

$$Besparing = 0,92 \text{ kW} \cdot 110 \text{ uur} \cdot 0,11$$

$$Besparing = \text{€}11,13/\text{jaar}$$

Casus III: Onderdeel ventilator

Tabel 3

Specificaties van de ventilator met bijbehorende eenheden.

	Hoeveelheid	Eenheid
Aantal polen	4	-
Aantal fasen	3	-
Spanning	AC	-
Vermogen	45	kW
Frequentie	50	Hz
Koppel	291	Nm
Rendement	94	%
cosinus φ	0,84	-
Slip	1	%
Statorweerstand	Per wikkeling	0,03
Snelheid		1250 rpm

III.1 Snelheid ventilator zonder frequentieregelaar

$$n_{stator} = f \cdot 60 \cdot \frac{2}{p}$$

$$n_{stator} = 50 \cdot 60 \cdot \frac{2}{4}$$

$$n_{stator} = 1500 \text{ rpm}$$

$$n_{rotor} = \frac{n_{stator}}{100} \cdot (100 - s)$$

$$n_{rotor} = \frac{1500}{100} \cdot (100 - 1)$$

$$n_{rotor} = 1485 \text{ rpm}$$

Vanaf hier wordt de casus aangepast met een frequentieregelaar die de frequentie terug regelt naar 1250 [rpm].

III.2 Netfrequentie motor met regelaar

$$n = f \cdot 60 \cdot \frac{2}{p}$$

$$f = \frac{n \cdot p}{2 \cdot 60}$$

$$f = \frac{1250 \cdot 4}{2 \cdot 60}$$

$$f = 41,6 \text{ Hz}$$

III.3 Lastgeval ventilator en benodigd vermogen



Het benodigd vermogen is niet te bepalen doordat de lastkarakteristiek niet bekend is. Er is wel bekend dat er een exponentiële toename in koppel is ten opzichte van het toerental.

Vanaf hier wordt de casus aangepast van een kooianker rotor naar een magneetrotor

III.4 Totale verliezen van motor en rendement

Eerst berekenen we het inkomend elektrisch vermogen door het rendement en asvermogen te gebruiken.

$$P_{in} = \frac{P_{as}}{\text{rendement}}$$

$$P_{in} = \frac{45}{0,94}$$

$$P_{in} = 47,9 \text{ kW}$$

De totale verliezen zullen gelijk zijn aan het verschil tussen elektrisch vermogen (P_{in}) en het asvermogen.

$$Verlies = P_{in} - P_{as}$$

$$Verlies = 47,9 - 45$$

$$Verlies = 2,4 \text{ kW}$$

Zodra de rotorverliezen van de totale verliezen worden afgetrokken blijven de verliezen over die met magneetrotor zouden bestaan. Eerst moeten de rotorverliezen bepaald worden. Deze zijn 25% van het totale verlies.

$$Rotorverliezen = \frac{2,4}{100} \cdot 25\%$$

$$Rotorverliezen = 0,6 \text{ kW}$$

III.5 Besparingen op maatregelen

Notitie uit opdracht:

Bij een gebruik van 3000 [uur per jaar] en een stroomprijs van 0,11 [€ per kWh].

De besparing wordt uitgerekend door het verschil tussen het oude verlies en het nieuwe verlies te bepalen.

$$Vermogenbesparing = Verlies_{oud} - Verlies_{nieuw}$$

$$Vermogenbesparing = 2,4 - 0,6$$

$$Vermogenbesparing = 1,8 \text{ kW}$$

$$Besparing = 1,8 \text{ kW} \cdot 3000 \text{ uur} \cdot 0,11$$

$$Besparing = €594/\text{jaar}$$

Bijlage 1

Casusberekening bovenloopkraan

Gegevens

Algemene dimensionering		
	Waarde	SI-waarde
Maximale hijslast	32 ton	32000 kg
Zwaartekrachtversnelling	9,81 m/s ²	9,81 m/s ²

Kat dimensionering		
	Waarde	SI-waarde
Massa kat	1,6 ton	1600 kg
Diameter wiel	250 mm	0,25 m
Rijsnelheid	25 m/min	0,417 m/s
Rolweerstand wielen	0,0690	0,0690
Versnelling	0,1 m/s ²	0,1 m/s ²

Hijsmechanisme dimensionering		
	Waarde	SI-waarde
Diameter trommel	500 mm	0,50 m
Hijssnelheid	0,186 m/s	0,186 m/s
Aanlooptijd hijsen	4 seconden	4 seconden
Rolweerstand trommel	0,0006	0,0006
Omgevingstemperatuur	45 ° C	45 ° C
Motortemperatuur	135 ° C	135 ° C
Ijzerverliezen	2300 W	2300 W
Statorweerstand per wikk.	0,027 ohm	0,027 ohm
Toerental gekozen motor	2969 rpm	2969 rpm
Losbreekkoppel	10 %	10 %
Oude levensduur motor	7 jaar	7 jaar
Temperatuurgrens	130 ° C	130 ° C
Derating factor	97,5 %	97,5 %

Ventilator dimensionering		
	Waarde	SI-waarde
Aantal polen	4	4
Aantal fasen	3	3
Spanning	AC	-
Vermogen	45,0 kW	45,0 kW
Frequentie	50,0 Hz	50,0 Hz
Koppel	291 Nm	291 Nm
Rendement	0,94	0,94
cosinus φ	0,84	0,84
Slip	1	1
Statorweerstand	0,030 ohm	0,030 ohm
Snelheid	1250 rpm	1250 rpm

Casusberekening bovenloopkraan

Casus I: Onderdeel kat

I.3: Versnellingskracht
Versnelling:
$a = \frac{v1 - v0}{t}$
$a = \frac{0,1 - 0}{1}$
$a = 0,10 \text{ m/s}^2$
Acceleratie:
$F = m \cdot a$
$F = 3200 \cdot 0,1$
$F = 3200 \text{ N}$

I.4: Versnellingskracht
Versnelling:
$a = \frac{v1 - v0}{t}$
$a = \frac{0,4 - 0}{4}$
$a = 0,10 \text{ m/s}^2$
Acceleratie:
$F = m \cdot a$
$F = 3200 \cdot 0,1$
$F = 3200 \text{ N}$

I.5: Totale kracht	
Normaalkracht:	Versnellingskracht:
$F_N = m_{\text{kat}} + m_{\text{last}} \cdot g$	$F_{\text{acc}} = (m_{\text{kat}} + m_{\text{last}}) \cdot a$
$F_N = (1600 + 32000) \cdot 9,81$	$F_{\text{acc}} = (1600 + 32000) \cdot 0,1$
$F_N = 329616 \text{ N}$	$F_{\text{acc}} = 3360 \text{ N}$
Rolweerstand:	Som rol en versnelling
$F_r = C_r \cdot F_N$	$F_{\text{tot}} = F_r + F_{\text{acc}}$
$F_r = 0,069 \cdot 329616$	$F_{\text{tot}} = 22743,504 + 3360$
$F_r = 22744 \text{ N}$	$F_{\text{tot}} = 26104 \text{ N}$

Casusberekening bovenloopkraan

Casus II: Onderdeel hijsen

II.1 Benodigd vermogen	
Normaalkracht	Het benodigd vermogen wordt bepaald door de normaalkracht te berekenen, in combinatie met de rolweerstand en de snelheid.
$F_N = m_{last} \cdot g$	
$F_N = 32000 \cdot 9,81$	
$F_N = 313920 \text{ N}$	
Rolweerstand	Som rol en last
$F_r = C_r \cdot F_N$	$P = F_r \cdot F_N \cdot v$
$F_r = 0,0006 \cdot 313920$	$P = (188,352 + 313920) \cdot 0,186$
$F_r = 188 \text{ N}$	$P = 58424 \text{ W}$

II.5 Acceleratiekoppel bepalen	
Versnelling	Het acceleratiekoppel wordt bepaald door de versnellingskracht die bepaald wordt door de versnelling.
$a = \frac{v1 - v0}{t}$	
$a = \frac{0,186 - 0}{4}$	
$a = 0,0465 \text{ m/s}^2$	
Versnellingskracht	Acceleratiekoppel
$F = m \cdot a$	$T = F \cdot r$
$F = 32000 \cdot 0,0465$	$T = 1488 \cdot 0,25$
$F = 1488 \text{ N}$	$T = 372 \text{ Nm}$

II.2 Toerental en koppel bepalen	
Hoeksnelheid	Het toerental wordt berekend door middel van de hijssnelheid en radius van de trommel. Het koppel kan afgeleid worden van het vermogen en het toerental.
$\omega = \frac{v}{r}$	
$\omega = \frac{0,186}{0,25}$	
$\omega = 0,744 \text{ rad/s}$	
Toerental	Koppel
$n = \frac{\omega \cdot 60}{2 \cdot \pi}$	$T = \frac{P}{\omega}$
$n = \frac{0,744 \cdot 60}{2 \cdot \pi}$	$T = \frac{58424 \text{ W}}{0,744 \text{ rad/s}}$
$n = 7,1 \text{ rpm}$	$T = 78527 \text{ Nm}$

II.9 Levensduur bepalen	
Levensduur	De levensduur is afhankelijk van de oude levensduur en het verschil tussen de temperatuurgrens en de motortemperatuur.
$T_{los} = \frac{(T_{max} - T)}{8} \cdot 2$	
$T_{los} = \frac{(130 - 135)}{8} \cdot 2$	
$T_{los} = 4,54 \text{ jaar}$	

II.3 overbrengverhouding bepalen	
Overbrengverhouding	De overbrengverhouding is het verschil tussen de snelheid van de motor en de snelheid van de trommel. In het bijgevoegde verslag staat hier meer info over.
$i = \frac{N_{motor}}{N_{trommel}}$	
$i = \frac{2969}{7,1 \text{ rpm}}$	
$i = 418$	

II.6 Aanlooppkoppel bepalen	
Overbrengverhouding	
$T_{aanloop} = T_{lostrek} + T_{acc} + T_{last}$	
$T_{aanloop} = 7852,7088 + 372 + 78527,088$	
$T_{aanloop} = 86752 \text{ Nm}$	

II.10 Derating	
Derating	Volgens de derating grafiek uit het verslag heeft een motor op minder dan 1000 meter hoogte en 45 graden een derating van 96,5%.
$P = \frac{P_{cold}}{100} \cdot \text{Derating}$	
$P = \frac{64543}{100} \cdot 97,5$	
$P = 62930 \text{ W}$	

II.4 Losbreekkoppel bepalen	
Losbreekkoppel	Het losbreekkoppel voor hijsen is volgens het verslag vastgesteld op 10% nominaal. De bron voor deze aanname is te vinden in het verslag.
$T_{los} = \frac{T_{nom}}{100} \cdot T_{start}$	
$T_{los} = \frac{78527 \text{ Nm}}{100} \cdot 10$	
$T_{los} = 7853 \text{ Nm}$	

II.7 Een nieuwe 3 fase motor kiezen	
Vermogen	Doordat de 3 fase motor al overgedimensioneerd uitviel door een slecht aansluitend model, kan dezelfde motor behouden blijven. Zie verslag voor nadere toelichting.
$P = T \cdot \omega$	
$P = 86751,7968 \cdot 0,744$	
$P = 64543 \text{ W}$	

II.11 Stroom per fase	
Lijnstroom	Volgens de derating grafiek uit het verslag heeft een motor op minder dan 1000 meter hoogte en 45 graden een derating van 96,5%.
$I_{lijn} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{lijn} \cdot \cos\phi}$	
$I_{lijn} = \frac{65000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,84}$	
$I_{lijn} = 112 \text{ A}$	

II.12 Verliezen in de stator	
Jouleverliezen	De verliezen in de stator zijn een som van de ijzerverliezen en de jouleverliezen in de stator.
$P_j = I_1^2 \cdot R_1 \cdot 3$	
$P_j = 111,7 \cdot 0,027 \cdot 3$	
$P_j = 1010,6 \text{ W}$	
Ijzerverliezen	Som ijzer- en jouleverliezen
De totale ijzerverliezen zijn vastgesteld op 5%. In de stator wordt hier 4% van verbruikt. Dit komt neer op 1840 W	Tot = $P_{j\text{stator}} + \text{ijzerverliezen}$
	Tot = $1010,62809 + 1840$
	Tot = $3310,6 \text{ W}$

II.13 Verliezen in de rotor	
Jouleverliezen	De verliezen in de rotor zijn een som van jouleverliezen en 1 procent van de ijzerverliezen.
$P_j = I_1^2 \cdot R_1 \cdot 3$	
$P_j = 111,7 \cdot 0,027 \cdot 3$	
$P_j = 1010,6 \text{ W}$	
Ijzerverliezen	Som ijzer- en jouleverliezen
$F_e = \text{ijzerverlies} \cdot 20\%$	Tot = $P_{j\text{rotor}} + \text{ijzerverliezen}$
$F_e = 2300 \cdot 20\%$	Tot = $1010,62809 + 23$
$F_e = 460,0 \text{ W}$	Tot = $1470,6 \text{ W}$

II.14 Totale verliezen en rendement	
Totale verliezen	
Tot = $P_{\text{stator}} + P_{\text{rotor}}$	
Tot = $3310,6 + 1470,6$	
Tot = $4781,3 \text{ W}$	
Rendement	
$re = \frac{P_{\text{as}}}{P_{\text{in}}}$	
$re = \frac{75000 \text{ W}}{79781,3}$	
$re = 0,9 \text{ W}$	

II.15 Totale verliezen en rendement	
Verlies	Rendement
Tot = rotor + stator	$re = \frac{P_{\text{as}}}{P_{\text{in}}}$
Tot = $0 + 3310,62809$	$re = \frac{75000 \text{ W}}{78310,6}$
Tot = $3310,6 \text{ W}$	$re = 95,8\%$

II.16 Besparingen op maatregelen	
Oud vermogen	De besparing is 68 kW per uur
$P = \frac{P}{\text{rendement}}$	
$P = \frac{64543 \text{ W}}{0,945}$	
$P = 68299,8 \text{ W}$	
Nieuw vermogen	Vermogensverschil
$P = \frac{P}{\text{rendement}}$	$d = P_{\text{oud}} - P_{\text{nieuw}}$
$P = \frac{64543 \text{ W}}{0,958}$	$d = 68299,8 - 67392,4$
$P = 67392,4 \text{ W}$	$d = 907,4 \text{ W}$

II.16 Besparing	
Kosten	Doordat de 3 fase motor al overgedimensioneerd uitviel door een slecht aansluitend model, kan dezelfde motor behouden blijven. Zie verslag voor nadere toelichting.
$P = P \cdot t \cdot \text{prijs}$	
$P = 0,9074 \cdot 110 \cdot 0,11$	
$P = \text{€ } 10,98$	

Casusberekening bovenloopkraan

Casus III: Onderdeel ventilator

III.1 Snelheid ventilator zonder frequentieregelaar	
statorsnelheid	rotorsnelheid
$n_{\text{stator}} = f \cdot 60 \cdot \frac{2}{p}$	$n_{\text{rotor}} = \frac{n_{\text{stator}}}{100} \cdot (100 - s)$
$n_{\text{stator}} = 50 \cdot 60 \cdot \frac{2}{4}$	$n_{\text{rotor}} = \frac{1500 \text{ rpm}}{100} \cdot (100 - 1)$
$n_{\text{stator}} = 1500 \text{ rpm}$	$n_{\text{rotor}} = 1485 \text{ rpm}$

III.2 Netfrequentie met regelaar	
frequentie	De nieuwe frequentie van de motor is 1250. Door deze in te vullen in de formule is de netfrequentie te bepalen.
$f = \frac{n \cdot p}{2 \cdot 60}$	
$f = \frac{1250 \cdot 4}{2 \cdot 60}$	
$f = 41,7 \text{ Hz}$	

III.4 Totale verliezen van motor en rendement	
Elektrisch vermogen	Verlies
$P_{\text{in}} = \frac{P_{\text{as}}}{\text{rendement}}$	$\text{verlies} = P_{\text{in}} - P_{\text{as}}$
$P_{\text{in}} = \frac{45}{0,94}$	$\text{verlies} = 47,9 - 45$
$P_{\text{in}} = 47,9 \text{ kW}$	$\text{verlies} = 2,9 \text{ kW}$

Bibliografie

ABB. (2016). *ABB Motors and Generators 9AKK105944*. ABB.

Agrawal, K. (2001). Industrial Power Engineering and Applications Handbook. In K. Agrawal, *Industrial Power Engineering and Applications Handbook* (p. 489). Butterworth-Heinemann.

Marathon Generators. (n.d.). *ambient.pdf*. Retrieved from Marathongenerators.com:
<https://www.marathongenerators.com/generators/docs/manuals/ambient.pdf>

Rotor B.V. (n.d.). *Isolatieklasse - motor*. Retrieved from Rotor.nl:
<https://www.rotor.nl/isolatieklasse/cnt/page/1009>