ANALYTICKÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

1. MECHANICKÉ ZTRÁTY V LOŽISCÍCH

1.1 Ložisko 6209-2Z C3:

Zadané hodnoty			
Parametr	*Značka*	*Hodnota*	*Jednotka*
Jmenovité otáčky	n	3000	min^{-1}
Radiální síla	F_r	1100	N
Vnitřní průměr	d	45	mm
Vnější průměr	D	85	mm
Střední průměr	d_m	65	mm
Viskozita tuku	v	5,64	mm^2/s
Teplota na vnějším kroužku	t	95	°C
Teplota na vnitřním kroužku	t	90	°C
Konstanta doplnění	K_{rs}	0,00000006	-
Konstanta pro typ ložiska	K_z	3,1	-
Geometrická konstanta	R_1	0,00000039	-
Geometrická konstanta	S_1	0,00323	-
Váhový faktor kluzného třecího momentu	μ_{BL}	0,12	-
Konstanta závislosti na pohybu	μ_{EHL}	0,04	-

$$M = M_{RR} + M_{SL} + M_{SEAL} + M_{DRAG}$$

$$M_{RR} = \phi_{ISH}\phi_{RS}G_{RR}(\nu_{ACT}n)^{0,6}$$

$$\phi_{ISH} = \frac{1}{1+1,84\times10^{-9}(nd_m)^{1,28}\nu^{0,64}} = \frac{1}{1+1,84\times10^{-9}(3000\times65)^{1,28}5,64^{0,64}} = 0,968$$

$$\phi_{RS} = \frac{1}{e^{\left[K_{RS}\times n\upsilon(d+D)\sqrt{\frac{K_Z}{2(D-d)}}\right]}} = \frac{1}{e^{\left[6\times10^{-8}\times3000\times65,64(45+85)\sqrt{\frac{3,1}{2(85-45)}}\right]}} = 0,974$$

$$G_{RR} = R_1 d_M^{1,96} F_R^{0,54} = 3,9\times10^{-7}\times65^{1,95}1100^{0,54} = 0,0612$$

$$M_{RR} = \phi_{ISH}\phi_{RS}G_{RR}(\nu_{ACT}n)^{0,6} = 0,968\times0,974\times0,0612\times(5,64\times3000)^{0,6} = 19,88 \text{ Nmm}$$

$$M_{SL} = G_{SL}\mu_{SL}$$

$$G_{SL} = S_1 d_M^{-0,26} F_R^{5/3} = 3,23\times10^{-3}\times65^{-0,26}\times1100^{5/3} = 127,89$$

$$\phi_{BL} = \frac{1}{e^{2,6\times10^{-8}(n\upsilon)^{1,4}d_M}} = \frac{1}{e^{2,6\times10^{-8}(3000\times5,64)^{1,4}\times65}} = 0,245$$

$$\mu_{SL} = \phi_{BL}\mu_{BL} + (1-\phi_{BL})\mu_{EHL} = 0,245\times0,12 + (1-0,245)\times0,04 = 0,0596$$

$M_{SL} = G_{SL}\mu_{SL}$ = 127,89 × 0,0596 = 7,63 Nmm

M_{SEAL} = 0 Nmm

M_{DRAG} = 0 Nmm

$M = 19{,}88 + 7{,}63 + 0 + 0$ = 27,51 Nmm

$P_{ME}^{A} = 1{,}05 \times 10^{-4} Mn$ = $1{,}05 \times 10^{-4} \times 27{,}51 \times 3000$ = **8,66 W**

1.2 Ložisko 6307-2Z C3:

Zadané hodnoty			
Parametr	*Značka*	*Hodnota*	*Jednotka*
Jmenovité otáčky	n	3000	min^{-1}
Radiální síla	F_r	1100	N
Vnitřní průměr	d	35	mm
Vnější průměr	D	80	mm
Střední průměr	d_m	57,5	mm
Viskozita tuku	ν	5,64	mm^2/s
Teplota na vnějším kroužku	t	95	°C
Teplota na vnitřním kroužku	t	90	°C
Konstanta doplnění	K_{rs}	0,00000006	-
Konstanta pro typ ložiska	K_z	3,1	-
Geometrická konstanta	R_1	0,00000037	-
Geometrická konstanta	S_1	0,00284	-
Váhový faktor kluzného třecího momentu	μ_{BL}	0,12	-
Konstanta závislosti na pohybu	μ_{EHL}	0,04	-

$$M = M_{RR} + M_{SL} + M_{SEAL} + M_{DRAG}$$

$$M_{RR} = \phi_{ISH}\phi_{RS}G_{RR}(\nu_{ACT}n)^{0,6}$$

$$\phi_{ISH} = \frac{1}{1+1{,}84\times10^{-9}(nd_m)^{1,28}\nu^{0,64}} = \frac{1}{1+1{,}84\times10^{-9}(3000\times57{,}5)^{1,28}5{,}64^{0,64}} = 0{,}973$$

$$\phi_{RS} = \frac{1}{e^{\left[K_{RS}\times n\upsilon(d+D)\sqrt{\frac{K_Z}{2(D-d)}}\right]}} = \frac{1}{e^{\left[6\times10^{-8}\times3000\times65{,}64(35+80)\sqrt{\frac{3{,}1}{2(80-35)}}\right]}} = 0{,}979$$

$$G_{RR} = R_1 d_M^{1,96} F_R^{0,54} = 3{,}7 \times 10^{-7} \times 57{,}5^{1,95} 1100^{0,54} = 0{,}0457$$

$$M_{RR} = \phi_{ISH}\phi_{RS}G_{RR}(\nu_{ACT}n)^{0,6} = 0{,}973 \times 0{,}979 \times 0{,}0457 \times (5{,}64 \times 3000)^{0,6} = 14{,}97\ Nmm$$

$$M_{SL} = G_{SL}\mu_{SL}$$

$$G_{SL} = S_1 d_M^{-0,26} F_R^{5/3} = 2{,}84 \times 10^{-3} \times 57{,}5^{-0,26} \times 1100^{5/3} = 116{,}09$$

$\phi_{BL} = \frac{1}{e^{2,6\times10^{-8}(nv)^{1,4}d_M}} = \frac{1}{e^{2,6\times10^{-8}(3000\times5,64)^{1,4}\times57,5}} = 0,289$

$\mu_{SL} = \phi_{BL}\mu_{BL} + (1-\phi_{BL})\mu_{EHL} = 0,289 \times 0,12 + (1-0,289) \times 0,04 = 0,063$

$M_{SL} = G_{SL}\mu_{SL} = 116,09 \times 0,063 = 7,32$ Nmm

$M_{SEAL} = 0$ Nmm

$M_{DRAG} = 0$ Nmm

$M = 14,97 + 7,32 + 0 + 0 = 22,29$ Nmm

$P_{ME}^{B} = 1,05 \times 10^{-4} Mn = 1,05 \times 10^{-4} \times 23,3 \times 3000 =$ **7,02 W**

$P_{ME} = P_{ME}^{A} + P_{ME}^{B} = 8,66 + 7,02 =$ **15,68 W**

2. ODPOROVÉ ZTRÁTY

Zadané hodnoty			
Parametr	*Značka*	*Hodnota*	*Jednotka*
Jmenovité otáčky	n	3000	min^{-1}
Jmenovitý proud	I_N	19	A
Teplotní součinitel rezistivity měď	α	0,004	1/K
Rezistivita mědi při pokojové teplotě	$\rho(T_0)$	1,70E-08	Ωm
Délka cívky	l_a	0,04	m
Délka cívky čelo	l_b	0,05	m
Celková délka cívky	l_c	0,185	m
Závitů na cívku	N_c	76,00	-
Průměr drátu	d_{dr}	1,25E-03	m
Plocha drátu	S_{dr}	1,23E-06	m^2

$$R_{C1} = \rho_{(T_0)Cu}\frac{l_c}{S_{dr}}N_C = 1,7 \times 10^{-8}\frac{0,185}{1,23 \times 10^{-6}} \times 76 = 0,19\ \Omega$$

$R_{C1} = R_{C2} = R_{C3} = R_{C4} = 0,19\ \Omega$

$R_1 = R_{C1} + R_{C2} = 0,19 + 0,19 = 0,38\Omega$

$R_1 = R_2 = 0,38\ \Omega$

$$R_F = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 - R_2} = \frac{0,38 \times 0,38}{0,38 + 0,38} = 0,19\ \Omega$$

$P_{Cu} = 3I_N^2 R_F = 3 \times 19^2 \times 0,19 = \mathbf{210,94\ W}$

3. ZTRÁTY V ŽELEZE

Zadané hodnoty			
Parametr	*Značka*	*Hodnota*	*Jednotka*
Objem magnetického jádra	V	4,35E-04	m^3
Tloušťka plechu	d	3,50E-04	m
Měrný elektrický odpor M330-35A	$\rho(T_0)$	4,50E-07	Ωm
Hysterezní koeficient M330-35A	η	5,02	-
Steinmanův koeficient	k	2	-
Indukční tok	B	0,0585	T
Frekvence	f	250	Hz

$$P_E = \frac{V\pi^2 f^2 d B^2}{6\rho} = \frac{4{,}35 \times 10^{-4} \times \pi^2 \times 250^2 \times 3{,}50 \times 10^{-4} \times 0{,}0585^2}{6 \times 4{,}50 \times 10^{-7}} = 119{,}31\ W$$

$$P_H = \eta V f B^k = 5{,}02 \times 4{,}35 \times 10^{-4} \times 250 \times 0{,}0585^2 = \ 1{,}8\ \times\ 10^{-3}\ W$$

$$P_{Fe} = \ P_E + P_H = 119{,}31 + 1{,}8 \times 10^{-3} = \mathbf{119{,}31\ W}$$

4. ZTRÁTY V MAGNETECH

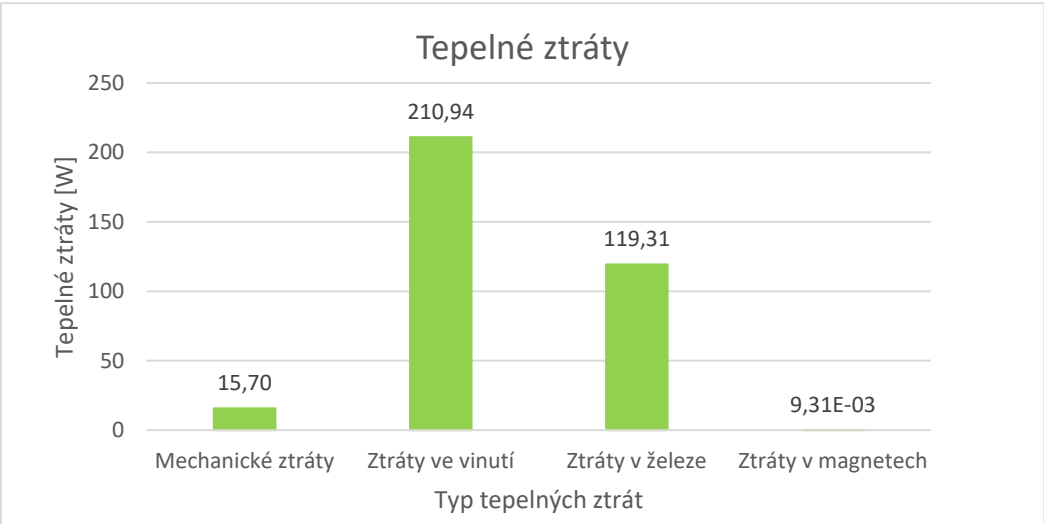
Zadané hodnoty			
Parametr	*Značka*	*Hodnota*	*Jednotka*
Délka magnetu	a	2,78E-02	m
Šířka magnetu	b	2,00E-02	m
Tloušťka magnetu	c	3,75E-03	m
Objem magnetu	V_m	2,09E-06	m^3
Měrný elektrický odpor N38UH	$\rho(T_0)$	1,60E-06	Ωm
Indukční tok	B	0,0585	T
Frekvence	f	250	Hz

$$P_M = \frac{V_m b^2 B f^2}{12\rho_m} = \frac{2{,}09 \times 10^{-6} \times (2{,}00 \times 10^{-2})^2 \times 0{,}0585 \times 250^2}{12 \times 1{,}60 \times 10^{-6}} = \mathbf{9{,}31 \times 10^{-3}\ W}$$

5. ZTRÁTY VZDUCHOVÉ

Zadané hodnoty			
Parametr	*Značka*	*Hodnota*	*Jednotka*
Rádius rotoru	r_{r1}	0,0476	m
Tloušťka magnetu	c	0,00375	m
Rádius rotoru	r_r	0,05135	m
Rádius statoru	r_s	0,0525	m
Šířka vzduchové mezery	d	0,00115	m
Jmenovité otáčky	n	3000	min^{-1}
Úhlová rychlost	ω	314,16	rad/s
Dynamická viskozita vzduchu	μ	1,92E-05	Pa*s
Hustota vzduchu	ρ	1,112	kg/m^3
Délka rotoru	l	0,04	m
Koeficient tření	f	0,05	-
Koeficient drsnosti	k_r	3,00	-

$$P_W = k_r \pi f \rho \omega^2 r_r^4 l = 3 \times \pi \times 0{,}05 \times 1{,}112 \times 314{,}16^2 \times 0{,}05135^4 \times 0{,}04 = \mathbf{1{,}44 \times 10^{-2} W}$$

6. CELKOVÉ ZTRÁTY

Celkové ztráty				
Mechanické ztráty	P_{ME}	15,70	W	5%
Ztráty ve vinutí	P_{CU}	210,94	W	61%
Ztráty v železe	P_{FE}	119,31	W	34%
Ztráty v magnetech	P_M	9,31E-03	W	0%
Celkové ztráty	P	345,96	W	100%