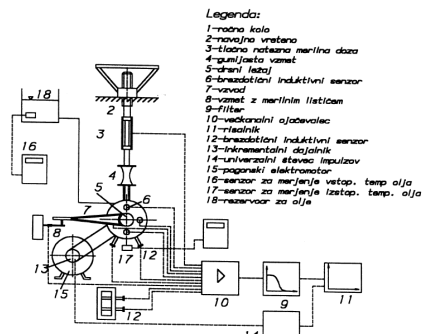
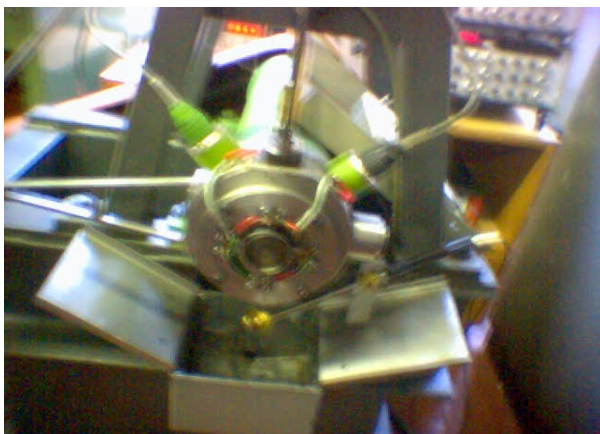


Podatki št. 9; Shema ; Slike preizkuševališča

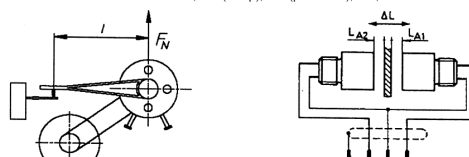
$n_{w,min}$	4250 min^{-1}
$n_{w,max}$	7150 min^{-1}
$n_{w,min}$	70.833333 s^{-1}
$n_{w,max}$	119.16667 s^{-1}
F_{min}	20 kN
F_{max}	35 kN
F_{min}	20000 N
F_{max}	35000 N
γ_{eff}	64 °C





Sl. 2 – Shema preizkuševališča

- Merjenje radialne sile: polnomostična Wheatstonova vezava – HBM 2x3/350 XY 11.
- Merjenje sile trenja: polnomostična Wheatstonova vezava – HBM 2x3/350 XY 11.
- Merjenje potovanja čepa: 2 para brezdotičnih induktivnih senzorjev vezana v polovični Wheatstonov mostiček – HBM Tr 8; E-5 (oklop); A-1 (povezava); B-2; C-3.





Material ležaja

Materiali za izdelavo ležajev so lahko različni. V glavnem se uporabljajo bele kovine, rdeče litine, zlitine na osnovi svinca, kositra, bakra, lahko tudi siva litina ali plastične mase. Dobri materiali imajo naslednje lastnosti: so elastični in plastični, dobro tlačno odporni, odporni proti zavaritvi in nastajanju brazd, imajo dobre drsne lastnosti in toplotno prevodnost, so kompatibilni z materialom čepa...

Na osnovi Tabele 1 in 2 v prilogi sem se odločil, da bom izbral ležaj izdelal iz:

Litina kositerne bronca in črna litina DIN 1705 (JUS C.D2.304 i 302)

Litina kositerne bronca G-SnBz 14 P.Cu Sn 14

d_L	100 mm	$v = \omega \cdot \frac{d_{sr}}{2} = 2 \cdot \frac{d_{sr}}{2} \cdot \pi \cdot n$
$\omega(n_{max})$	748.74625 s ⁻¹	$\omega = 2\pi n$
$\omega(n_{min})$	445.05896 s ⁻¹	$v = d_{sr} \cdot \pi \cdot n$
$u(max)$	37.437312 m/s	$d_{sr} = \frac{1}{4} \cdot (d_{Lx} + d_{Ly,s} + d_{Ly,z} + d_w)$
$u(min)$	22.252948 m/s	
pdop	4 N/mm²	

Relativna širina ležaja

Relativna širina ležaja je geometrijska lastnost, ki ima velik vpliv na karakteristike in delovanje ležaja. Njene vrednosti večinoma dependirajo od obremenitve ležaja.

b	100 mm	b ...širina ležaja	$\frac{b}{d_L} = 0,2 \dots 1 \dots (1,5)$
d_L	100 mm	d_L ...imenski premer ležaja	
b/d_L	1		

Porazdelitev tlaka v ležaju je v našem primeru neenakomerna. Zaradi tega vzroka uporabljamo kot kriterij za oceno obremenjenosti ležaja srednji tlak v ležaju - p_L , ki mora biti manjši od dopustnega:

$p_L(max)$	3.5 N/mm²	F ...radialna sila	$p_L = \frac{F}{b \cdot d_L} \leq p_{dop}$
$p_L(min)$	2 N/mm²	p_L ...dopusten specifični tlak	
pdop	4 N/mm²	pdop...dopusten specifični tlak	

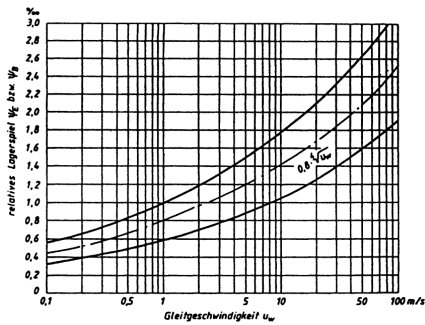
Relativna zračnost

Relativna zračnost je definirana kot:

$$\psi = \frac{s}{d_L} = \frac{d_{L'} - d_w}{d_{L'}} \approx \frac{d_{L'} - d_w}{d_w}$$

s ...zračnost v ležaju
 d_w ...premer čepa ležaja
 $d_{L'}$...notranji premer ležajne puše

Relativno zračnost bom lahko izračunal, če bom prej določil premera, ki nastopata v enačbi. Glede na zgornjo enačbo rabim tako premer čepa ležaja in premer ležajne puše. Da ju bom lahko določil, moram prej poznati potreben ujem. Le tega se določi iz Diagrama 1 in Tabele 3 iz priloge:



b) Richtwerte abhängig von d_w und u_w

d_w mm	u_w m/s					
	-	3	10	25	50	
>	≤	3	10	25	50	125
-	100	1,32	1,6	1,9	2,24	2,24
	250	1,12	1,32	1,6	2,0	2,24
	250	-	1,12	1,32	1,6	1,9

c) Richtwerte abhängig von u_w und p_L

u_w in m/s	$p_L < 2$	$> 2 \dots 10$	$> 10 \text{ N/mm}^2$
< 20	0,3 ... 0,6	0,6 ... 1,2	1,2 ... 2
> 20 ... 100	0,6 ... 1,2	1,2 ... 2	2 ... 3
> 1000	1,2 ... 2	2 ... 3	3 ... 4,5

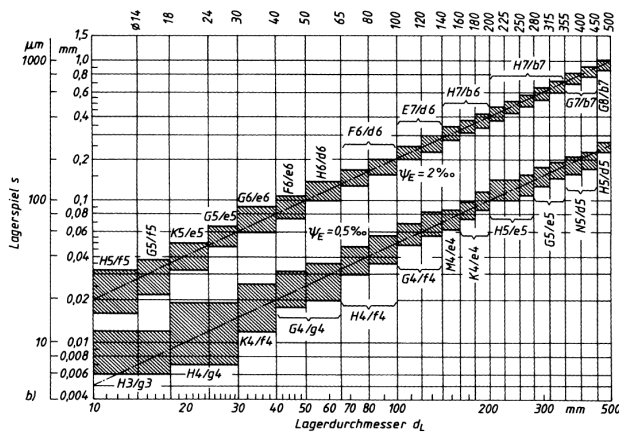
a)
 ψ_{\min} 1.737
 ψ_{\max} 1.978

b)
 ψ_{\min} 1.9
 ψ_{\max} 2.24

c)
 ψ_{\min} 1,2...2
 ψ_{\max} 1,2...2

d)
 ψ_{\min} 0,5...2,5
 ψ_{\max} 0,5...2,5

Da bom lahko izbral priporočenu ujem za drsni ležaj ocenjujem ψ_E na 2‰.



Izbral sem naslednji ujem:

E7 107
72
d6 -120
-142
E7/d6 0.249
0.192

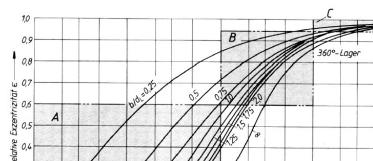
dLmin 100.072 mm
dLmax 100.107 mm
dWmin 99.858 mm
dWmax 99.88 mm

ψ_{\min} 0.0019186
 ψ_{\max} 0.0024873

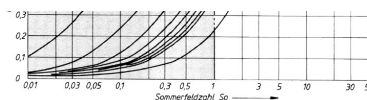
Sommerfeldovo število

Sommerfeldovo število je definirano z naslednjo enačbo in grafom:

$$S_0 = \frac{p_L \cdot \psi^2}{\eta_{\text{eff}} \cdot \omega_{\text{eff}}} = \frac{F \cdot \psi^2}{b \cdot d_L \cdot \eta_{\text{eff}} \cdot \omega_{\text{eff}}}$$



$$\omega_{eff} = \omega \cdot \pi \cdot n_w$$



Sl. 11 – Področja obratovanja A, B in C zaprtih drsnih ležajev

Za vsak ležaj posebej se Sommerfeldovo število razlikuje. Na podlagi tega števila lahko sklepamo o lastnostih in karakteristikah drsnega ležaja. Za drsne ležaje je najbolje, da se število nahaja nekje med 1 in 10, ϵ pa med 0,6 in 0,95 oziroma v B področju zgornjega diagrama. Tako imamo zagotovljeno stabilno obratovanje brez motenj.

Obratovalna temperatura

η_{eff} 64 °C

Izbral sem olje ISO VG 15

η_{eff} 6 mPas

Glede na dosedaj zapisane podatke je potrebno Sommerfeldovo število preveriti za najbolj ugoden in neugoden primer obratovanja.

$$S_0 = \frac{p_L \cdot \psi^2}{\eta_{eff} \cdot \omega_{eff}} = \frac{F \cdot \psi^2}{b \cdot d_L \cdot \eta_{eff} \cdot \omega_{eff}}$$

Iz zgornje enačbe lahko sklepamo, da bomo izračunali najbolj neugodno oziroma ugodno obremenitev, če vstavimo v enačbo naslednje podatke:

Fmax	oziroma:	Fmin
ψ_{max}		ψ_{min}
nmin		nmax

Glede na zgornji sklep lahko sedaj zapišemo oba Sommerfeldova števila:

S0(max) 8.1090326

S0(min) 1.6387828

Relativna ekscentričnost

Relativno ekscentričnost lahko določim na osnovi poznanega Sommerfeldovega števila z uporabo makroja.

ϵ (max) 0.8904174

ϵ (min) 0.6522048

Sedaj lahko določim minimalno in maksimalno debelino oljnega filma h_0 :

$$h_0 = 0,5 \cdot d_L \cdot \psi \cdot (1 - \epsilon) \cdot 10^3 \geq h_{0zul}$$

h_{0zul} ...dopustna mejna vrednost

h_0 (max) 0.0432542 mm

h_0 (min) 0.0105124 mm

h_{0zul} (max)

12 μ m

Tab. 5

h_{0zul} (min)

9 μ m

Tab. 5

Koeficient trenja

Koeficient trenja je definiran kot:

$$\mu = \frac{\pi \cdot \psi}{S_0 \cdot \sqrt{1 - \epsilon^2}} + \frac{\epsilon \cdot \psi}{2} \cdot \sin(\beta)$$

V enačbi poznam Sommerfeldovo število; določiti pa moram še ustreznosti kot β :

Izračunal sem ga po enačbi iz priloge na strani 21 (Tab. 4):

$\beta^{(max)}$ 0.4704
 $\beta^{(min)}$ 0.816397

Glede na vse sedaj zapisane podatke lahko izračunam minimalni in maksimalni koeficient trenja.

Opomba:

Za minimalni koeficient sem vstavil ψ_{min} , S_{0max} , ε_{min} in β_{max} .

Za maksimalni koeficient trenja sem vstavil ψ_{max} , S_{0min} , ε_{max} in β_{min} .

$\mu^{(max)}$ 0.0112834
 $\mu^{(min)}$ 0.0012641

Moč trenja

Moč trenja določa enačba:

$$P_R = \mu \cdot F \cdot u_w = \mu \cdot F \cdot \frac{d_w}{2} \cdot \omega_{eff} = \mu \cdot F \cdot d_w \cdot \pi \cdot n_w$$

Ponovno se mi zdi vredno zapisati logično opombo za minimalno in maksimalno moč trenja:

Minimalno moč trenja se izračunal tako, da sem v enačbo vstavil μ_{min} , F_{min} , n_{wmin} , d_{wmin} .

Maksimalno moč trenja sem izračunal tako, da sem v enačbo vstavil μ_{max} , F_{max} , n_{wmax} , d_{wmax} .

P_{Rmax} 14766.929 W
 P_{Rmin} 561.81892 W

Izračun potrebnega pretoka mazalnega olja

V ležaju generirana moč trenja se pretvarja v toploto, katero moramo odvajati iz ležaja. Del te toplote odvajamo z oljem. Prav tako je olje potrebno za vzdrževanje tekočinskega trenja. Pri obtočnem mazanju nadomestimo olje ki odteče iz ležaja z novim ustrezen pretok pa je definiran:

$$V_{olja} = k \cdot V_L \cdot \psi \cdot n \quad k \dots \text{faktor pretoka; zavisi od vrednosti } \varepsilon \text{ (Priloga stran 11)}$$

$$V_L = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} \cdot b \quad \begin{array}{ll} k(\varepsilon_{min}) & 0.325 \\ k(\varepsilon_{max}) & 0.45 \end{array}$$

Opomba:

Minimalen pretok dosežemo, če vstavimo d_{Lmin} , ψ_{min} , n_{wmin} , V_{Lmin} .

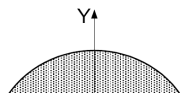
Maksimalen pretok dosežemo, če vstavimo d_{Lmax} , ψ_{max} , n_{wmax} , V_{Lmax} .

V_{Lmin} 0.7865295 dm³
 V_{Lmax} 0.7870798 dm³

Volja min 0.0347396 dm³/s
Volja max 0.1049835 dm³/s

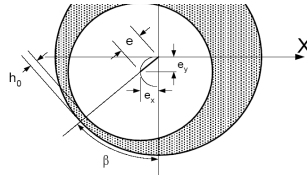
Izračun poti čepa

Čep potuje pri naraščanju vrtilne hitrosti po krivulji, ki ima približno polkrožno obliko. Glede na dosedaj znane podatke lahko definiramo položaj čepa v kartezičnih koordinatah. Iskani veličini sta torej:



$$e_x = e \cdot \sin(\beta) = e_x(n)$$

$$e_y = e \cdot \cos(\beta) = e_y(n)$$



Sl. 13 – Pot čepa

Ustrezno velikost β poznamo že iz prejšnjih preračunov, določiti pa moramo še ekscentričnost:

$$e = 0,5 \cdot d_L \cdot \psi \cdot \varepsilon$$

Zopet lahko takoj ugotovimo v katerem primeru bomo dobili robne vrednosti in zapišemo:

e_{min}	0.0626117 mm
e_{max}	0.110857 mm
e_{xmax}	0.0807796 mm
e_{xmin}	0.0283783 mm
e_{ymin}	0.0428797 mm
e_{ymax}	0.0988165 mm

Razmerje vrtilnih hitrosti

Da dejanska vrtilna hitrost n ne bo manjša od kritične, je potrebno upoštevati še varnost. Priporočeno razmerje vrtilnih hitrosti je definirano:

$$\frac{n}{n'_{\ddot{u}}} \geq 3 \quad u \leq m/s$$

$$n'_{\ddot{u}} = \frac{0,1 \cdot F}{C_{\ddot{u}} \cdot \eta_{eff} \cdot V_L}$$

$C_{\ddot{u}}$...konstanta prehoda

$$\frac{n}{n'_{\ddot{u}}} \geq 3 \quad u \geq m/s$$

$$V_L = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} \cdot b$$

V_L ...volumen ležaja, ki ga lahko privzamemo že od prej

Opomba:

Enačba za $n_{\ddot{u}}$ je empirične narave, zato je potrebno paziti, katere veličine in enote vstavljamo v enačbo. Kritično hitrost $n_{\ddot{u}}$ bom določil za najbolj neugoden oz. ugoden režim obratovanja in sicer:

F_{max}	35000 N	F_{min}	20000 N
η_{eff}	6 mPas	η_{eff}	6 mPas
V_{Lmin}	0.7865295 dm ³	V_{Lmax}	0.78708 dm ³
$C_{\ddot{u}}(pL=2)$	1.6 /	$C_{\ddot{u}}(pL=3,5)$	5.6 /

$$n'_{\ddot{u}}(max) \quad \mathbf{463.53419 > u}$$

$$n'_{\ddot{u}}(min) \quad \mathbf{75.626142 > u}$$

Hitrost u_{min} in u_{max} je v mojem primeru obakrat večja od zapsanega pogoja $u > 3m/s$, zato oba preračuna na desni strani za kritično vrtilno hitrost tudi analogno veljata.

