

1. ZÁKLADNÉ VÝPOČTY

Potrebná veľkosť ložiska sa stanoví na základe pôsobiacich vonkajších síl a podľa požiadaviek na trvanlivosť a spoľahlivosť ložiska v uložení. Veľkosť, smer, zmysel a charakter zaťaženia pôsobiaceho na ložisko ako aj prevádzková frekvencia otáčania sú rozhodujúce pre voľbu druhu a veľkosti ložiska. Pritom sa musí tiež prihliadnuť na ďalšie zvláštne alebo dôležité podmienky každého jednotlivého prípadu uloženia ako napr. prevádzkovú teplotu, priestorové možnosti, jednoduchosť montáže, požiadavky na mazanie, utesnenie atď., ktoré môžu ovplyvniť výber najvhodnejšieho ložiska. Pre dané konkrétne podmienky môžu v mnohých prípadoch vyhovovať rôzne typy ložísk.

Z hľadiska pôsobenia vonkajších síl a funkcie ložiska v príslušnom uzle alebo celku rozlišujeme v ložiskovej technike dva typy zaťaženia valivého ložiska:

- keď sa ložiskové krúžky navzájom relatívne voči sebe otáčajú a ložisko je za tohto stavu vystavené pôsobeniu vonkajších síl (čo platí pre väčšinu prípadov použitia ložísk), ide tu o **dynamické zaťaženie ložiska**,
- keď sa ložiskové krúžky buď navzájom nepohybujú, alebo sa pohybujú veľmi pomaly, ložisko prenáša kývavý pohyb alebo vonkajšie sily pôsobia kratšie ako je čas jednej otáčky ložiska, ide tu o **statické zaťaženie ložiska**.

Pre výpočet bezpečnosti ložiska je v prvom prípade rozhodujúca trvanlivosť limitovaná poruchou zapríčinenou únavou materiálu niektorej zo súčiastok ložiska. V druhom prípade sú to trvalé deformácie funkčných plôch v miestach styku valivých telies a obežných dráh.

1.1 DYNAMICKÉ ZAŤAŽENIE

1.1.1 Základná dynamická únosnosť

Základná dynamická únosnosť je stále nepremenné zaťaženie, ktoré môže ložisko teoreticky prenášať pri základnej trvanlivosti jedného milióna otáčok. Pre radiálne ložiská sa základná dynamická únosnosť C_r vzťahuje na stále nepremenné, čisto radiálne zaťaženie. Pre axiálne ložiská sa základná axiálna dynamická únosnosť C_a vzťahuje na nepremenné, čisto axiálne zaťaženie, pôsobiace v osi ložiska.

Pre každé ložisko je v tabuľkovej časti uvedená základná dynamická únosnosť C_r a C_a , ktorých veľkosť závisí od rozmeru ložiska, počtu valivých telies, materiálu a konštrukcie ložiska. Hodnoty základných dynamických únosností boli stanovené podľa normy ISO 281. Tieto hodnoty sú overené na skúšobných zariadeniach a potvrdené prevádzkovými výsledkami.

1.1.2 Trvanlivosť

Trvanlivosť ložiska je počet otáčok, ktoré vykoná jeden krúžok vzhľadom k druhému krúžku, pokiaľ sa neobjavia prvé príznaky únavy materiálu na jednom z krúžkov alebo na valivom telese. Medzi ložiskami rovnakého typu môžu byť však značné rozdiely v trvanlivosti, a preto sa na výpočet trvanlivosti podľa ISO 281 používa za základ základná trvanlivosť, t.j. trvanlivosť, prezentovaná dobou prevádzky, ktorú dosiahne alebo prekročí skupina ložísk pri spoľahlivosti 90%.

Rovnica základnej trvanlivosti

Základná trvanlivosť ložiska je matematicky definovaná rovnicou trvanlivosti, ktorá platí pre všetky typy ložísk.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{alebo} \quad \frac{C}{P} = \left(L_{10} \right)^{\frac{1}{p}}$$

L_{10}	- základná trvanlivosť	$[10^6 \text{ot}]$
C	- základná dynamická únosnosť (hodnoty C_r , C_a sú uvedené v tabuľkovej časti)	$[\text{kN}]$
P	- ekvivalentné dynamické zaťaženie ložiska (rovnicou pre výpočet P_r , P_a sú uvedené v ods. 1.1.3 a pri každej konštrukčnej skupine ložísk)	$[\text{kN}]$

p - mocniteľ: pre guľkové ložiská
pre valčekové, ihlové, súdkové a kuželíkové ložiská

p = 3
p = 10 / 3

V tabuľke 1 je uvedená závislosť trvanlivosti L_{10} v miliónoch otáčok a príslušný pomer C/P.

V prípade, že frekvencia otáčania sa nemení, môže sa na výpočet trvanlivosti použiť upravená rovnica, ktorá vyjadruje základnú trvanivosť v prevádzkových hodinách:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

L_{10h} - základná trvanivosť

[h]

n - frekvencia otáčania

[min⁻¹]

Závislosť pomeru C/P od základnej trvanlivosti L_{10h} a od frekvencie otáčania n je uvedená pre guľkové ložiská v tabuľke 2 a pre valčekové, ihlové, súdkové a kuželíkové ložiská v tabuľke 3.

Pomer C/P v závislosti od trvanlivosti L_{10h}							Tab. 1
Pre guľkové ložiská				Pre valčekové, ihlové, súdkové a kuželíkové ložiská			
Trvanivosť'	C/P	Trvanivosť'	C/P	Trvanivosť'	C/P	Trvanivosť'	C/P
L_{10}		L_{10}		L_{10}		L_{10}	
10^6	ot	10^6	ot	10^6	ot	10^6	ot
0,5	0,793	600	8,43	0,5	0,812	600	6,81
0,75	0,909	650	8,66	0,75	0,917	650	6,98
1	1	700	8,88	1	1	700	7,14
1,5	1,14	750	9,09	1,5	1,13	750	7,29
2	1,26	800	9,28	2	1,24	800	7,43
3	1,44	850	9,47	3	1,39	850	7,56
4	1,59	900	9,65	4	1,52	900	7,70
5	1,71	950	9,83	5	1,62	950	7,82
6	1,82	1000	10	6	1,71	1000	7,94
8	2	1100	10,3	8	1,87	1100	8,17
10	2,15	1200	10,6	10	2	1200	8,39
12	2,29	1300	10,9	12	2,11	1300	8,59
14	2,41	1400	11,2	14	2,21	1400	8,79
16	2,52	1500	11,4	16	2,30	1500	8,97
18	2,62	1600	11,7	18	2,38	1600	9,15
20	2,71	1700	11,9	20	2,46	1700	9,31
25	2,92	1800	12,2	25	2,63	1800	9,48
30	3,11	1900	12,4	30	2,77	1900	9,63
35	3,27	2000	12,6	35	2,91	2000	9,78
40	3,42	2200	13	40	3,02	2200	10,1
45	3,56	2400	13,4	45	3,13	2400	10,3
50	3,68	2600	13,8	50	3,23	2600	10,6
60	3,91	2800	14,1	60	3,42	2800	10,8
70	4,12	3000	14,4	70	3,58	3000	11
80	4,31	3500	15,2	80	3,72	3500	11,5
90	4,48	4000	15,9	90	3,86	4000	12
100	4,64	4500	16,5	100	3,98	4500	12,5
120	4,93	5000	17,1	120	4,20	5000	12,9
140	5,19	5500	17,7	140	4,40	5500	13,2

Pomer C/P v závislosti od trvanlivosti L_{10h}							Tab. 1
Pre guľkové ložiská				Pre valčekové, ihľové, súdkové a kuželikové ložiská			
Trvanlivosť'	C/P	Trvanlivosť'	C/P	Trvanlivosť'	C/P	Trvanlivosť'	C/P
L_{10}		L_{10}		L_{10}		L_{10}	
10^6	ot	10^6	ot	10^6	ot	10^6	ot
160	5,43	6000	18,2	160	4,58	6000	13,6
180	5,65	7000	19,1	180	4,75	7000	14,2
200	5,85	8000	20	200	4,90	8000	14,8
250	6,30	9000	20,8	250	5,24	9000	15,4
300	6,69	10000	21,5	300	5,54	10000	15,8
350	7,05	12500	23,2	350	5,80	12500	16,9
400	7,37	15000	24,7	400	6,03	15000	17,9
450	7,66	17500	26	450	6,25	17500	18,7
500	7,94	20000	27,1	500	6,45	20000	19,5
550	8,19	25000	29,2	550	6,64	25000	20,9

Pomer C/P v závislosti od trvanlivosti L_{10h} a frekvencie otáčania n pre guľkové ložiská														Tab. 2
Trvanlivosť'	Frekvencia otáčania n [min^{-1}]													
L_{10h}	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
h														
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,15	1,24	1,34	1,45	1,56
500	-	-	-	1,06	1,24	1,45	1,56	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67
1 000	-	-	1,15	1,34	1,56	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36
1 250	-	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63
1 600	-	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91
2 000	1,06	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23
2 500	1,15	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56
3 200	1,24	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93
4 000	1,34	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32
5 000	1,45	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75
6 300	1,56	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20
8 000	1,68	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70
10 000	1,82	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23
12 500	1,96	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81
16 000	2,12	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	4,93	5,23	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43
20 000	2,29	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11
25 000	2,47	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
32 000	2,67	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
40 000	2,88	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
50 000	3,11	3,63	4,23	4,93	5,75	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4
63 000	3,36	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
80 000	3,36	4,23	4,93	5,75	6,70	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
100 000	3,91	4,56	5,32	6,20	7,23	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
200 000	4,93	5,75	6,70	7,81	9,11	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6



Pomer C/P v závislosti od trvanlivosti L_{10h} a frekvencie otáčania n pre guľkové ložiská

Tab. 2

Trvanivosť'	Frekvencia otáčania n [min^{-1}]													
	L_{10h}	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500
h														
100	1,68	1,82	1,96	2,12	2,29	2,47	2,67	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56
500	2,88	3,11	3,36	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,2	6,7	7,23	7,81
1 000	3,63	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83
1 250	3,91	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6
1 600	4,23	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5
2 000	4,56	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4
2 500	4,93	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4
3 200	5,32	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5
4 000	5,75	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6
5 000	6,20	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8
6 300	6,70	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2
8 000	7,23	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6
10 000	7,81	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2
12 500	8,43	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9
16 000	9,11	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7
20 000	9,83	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7
25 000	10,6	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8
32 000	11,5	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1
40 000	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-
50 000	13,4	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-
63 000	14,5	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-
80 000	15,6	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-
100 000	16,8	18,2	19,6	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-
200 000	21,2	22,9	24,7	26,7	28,8	31,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Pomer C/P v závislosti od trvanlivosti L_{10h} a frekvencie otáčania n pre valčekové, súdkové a kuželikové ložiská														Tab. 3
Trvanivosť	Frekvencia otáčania n [min^{-1}]													
L_{10h}	10	16	25	40	63	100	125	160	200	250	320	400	500	630
h														
100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	1,1	1,21	1,30	1,39	1,49
500	-	-	-	1,05	1,21	1,39	1,49	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42
1 000	-	-	1,13	1,30	1,49	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97
1 250	-	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	52,78	2,97	3,19
1 600	-	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42
2 000	1,05	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66
2 500	1,13	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
3 200	1,21	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20
4 000	1,30	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50
5 000	1,39	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82
6 300	1,49	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17
8 000	1,60	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54
10 000	1,71	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94
12 500	1,83	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36
16 000	1,97	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81
20 000	2,11	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30
25 000	2,26	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
32 000	2,42	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
40 000	2,59	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
50 000	2,78	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
63 000	2,97	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
80 000	3,19	3,66	4,20	4,82	5,54	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
100 000	3,42	3,92	4,50	5,17	5,94	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
200 000	4,20	4,82	5,54	6,36	7,30	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6

Pomer C/P v závislosti od trvanlivosti L_{10h} a frekvencie otáčania n pre valčekové, súdkové a kuželikové ložiská														Tab. 3
Trvanivosť	Frekvencia otáčania n [min^{-1}]													
L_{10h}	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
h														
100	1,60	1,71	1,83	1,97	2,11	2,26	2,42	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92
500	2,59	2,78	2,97	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,7	5,54	5,94	6,36
1 000	3,19	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82
1 250	3,42	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38
1 600	3,66	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98
2 000	3,92	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62
2 500	4,20	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3
3 200	4,50	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0
4 000	4,82	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8
5 000	5,17	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7
6 300	5,54	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6
8 000	5,94	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6
10 000	6,36	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6
12 500	6,81	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7
16 000	7,30	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9
20 000	7,82	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2
25 000	8,38	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6
32 000	8,98	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-
40 000	9,62	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-
50 000	10,3	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-
63 000	11,0	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-
80 000	11,8	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-
100 000	12,7	13,6	14,6	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-	-
200 000	15,6	16,7	17,9	19,2	20,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

V uložení náprav cestných a koľajových vozidiel sa základná trvanlivosť môže vyjadriť upraveným vzťahom v počte ubehnutých kilometrov.

$$L_{10km} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{\pi \cdot D}{1000}$$

L_{10km} - základná trvanlivosť
 D - priemer kolesa

[10^6 km]
 [m]

Smerné hodnoty základnej trvanlivosti

V prípadoch, keď nie je pre daný prípad uloženia vopred požadovaná trvanlivosť, je možné za primerané považovať hodnoty uvedené v tabuľke 4 a 5.

Smerné hodnoty základnej trvanlivosti v prevádzkových hodinách	Tab. 4
Druh stroja	Základná trvanlivosť
	L_{10h}
	h
prístroje a náradie zriedka používané	1 000
elektrické stroje pre domácnosť, malé ventilátory	2 000 až 4 000
stroje pre prerušovanú prevádzku, ručné nástroje, dielenské žeriavy, hospodárske stroje	4 000 až 8 000
stroje pre prerušovanú prevádzku s požiadavkou na vysokú spoľahlivosť, pomocné stroje v elektrárňach, pásové dopravníky, dopravné vozíky, výťahy	8 000 až 15 000
valcovacie stolice	6 000 až 12 000
stroje pre 8 až 16 hod. prevádzku: stacionárne elektromotory, ozubené prevody, vretená textilných strojov, stroje na spracovanie plastov, tlačiarenské stroje, žeriavy	15 000 až 30 000
obrábacie stroje všeobecne	20 000 až 30 000
stroje pre trvalú prevádzku: stacionárne elektrické stroje, dopravné zariadenia, valčekové trate, čerpadlá, odstredivky, dýchadlá, kompresory, kladivkové mlyny, drviče, briketovacie lisy, banské výťahy, lanové kotúče	40 000 až 60 000
stroje pre trvalú prevádzku s veľkou prevádzkovou bezpečnosťou: elektrárenské stroje, vodárenské stroje, papierenské stroje, lodné stroje	100 000 až 200 000

Smerné hodnoty základnej trvanlivosti v kilometroch	Tab. 5
Druh vozidla	Základná trvanlivosť
	L_{10km}
	km

koľasá cestných vozidiel:

motocykle	60 000
osobné automobily	150 000 až 250 000
nákladné automobily, autobusy	400 000 až 500 000

nápravové ložiská koľajových vozidiel:

nákladné železničné vagóny (podľa UIC) pri trvalom pôsobení maximálneho nápravového zaťaženia	800 000
električky	1 500 000
osobné železničné vagóny	3 000 000
motorové vagóny a motorové jednotky	3 000 000 až 4 000 000
lokomotívy	3 000 000 až 5 000 000

Rovnica upravenej trvanlivosti

Upravená trvanivosť je korigovaná základná trvanivosť, pričom sa pri výpočte okrem zaťaženia zohľadňuje vplyv materiálu ložiskových súčiastok, fyzikálno-mechanické a chemické vlastnosti maziva a teplotný režim pracovného prostredia ložiska.

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}$$

L_{na}	- upravená trvanivosť pre spoľahlivosť (100-n)% a iné ako bežné prevádzkové podmienky	[10 ⁶ ot]
a_1	- koeficient spoľahlivosti pre inú ako 90% spoľahlivosť, pozri tabuľku 6	
a_{23}	- koeficient materiálu, maziva, technológie výroby a prevádzkových podmienok, pozri obr. 1	
L_{10}	- základná trvanivosť	[10 ⁶ ot]

Hodnoty koeficienta a_1		Tab. 6
Spoľahlivosť (%)	L_n	a_1
90	L_{10}	1,00
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

Pre základné stanovenie hodnôt koeficienta a_{23} sa vychádza z diagramu na obrázku 1.

$$K = \frac{v}{v_1}$$

v	- kinematická viskozita maziva pri prevádzkovej teplote ložiska	[mm ² .s ⁻¹]
v_1	- kinematická viskozita pre definovanú frekvenciu otáčania a zvolený rozmer ložiska	[mm ² .s ⁻¹]

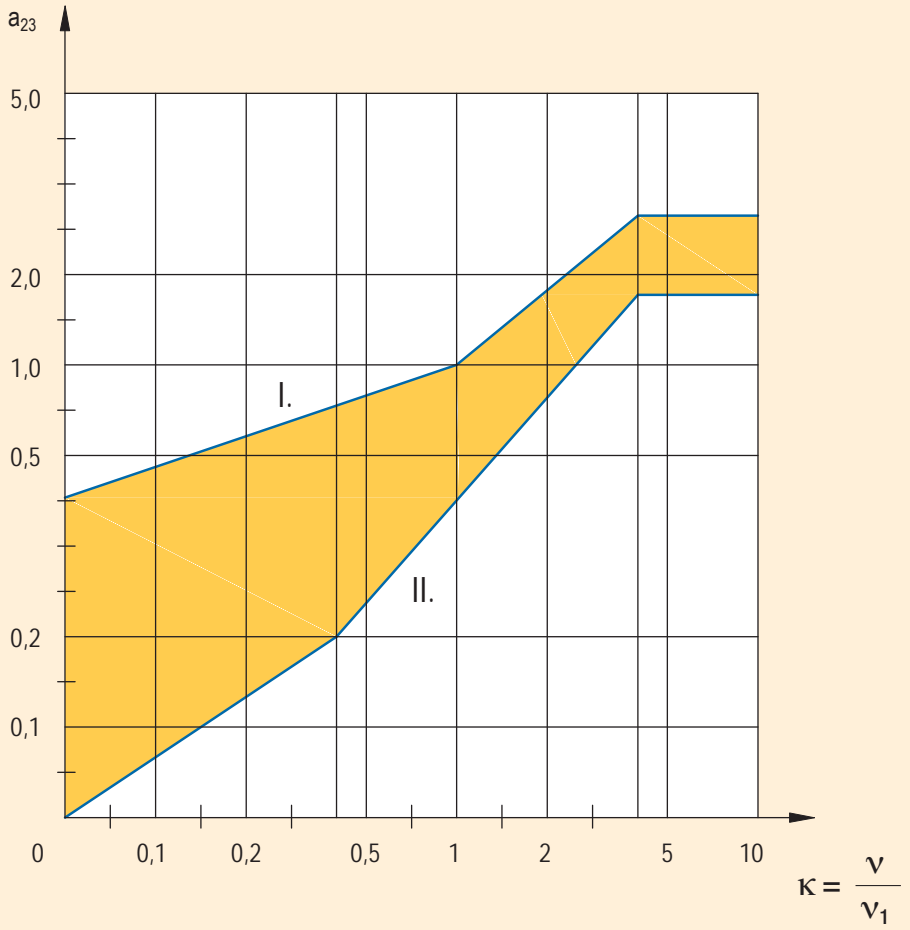
Hodnoty v a v_1 určíme podľa diagramu na obrázku 24, resp. na obrázku 23.

V diagrame na obr. 1, čiara I platí pre radiálne guľkové ložiská, ktoré pracujú vo veľmi čistom prostredí. V ostatných prípadoch sa koeficient a_{23} volí nižší v závislosti od čistoty prostredia, pričom klesajúca tendencia je závislá od konštrukčnej skupiny ložiska v tomto poradí:

- guľkové ložiská s kosouhlým stykom
- kuželíkové ložiská
- valčekové ložiská
- dvojradové naklápacie guľkové ložiská
- súdkové ložiská

Čiara II sa môže použiť pri stanovovaní koeficientu a_{23} pre súdkové ložiská, ktoré pracujú v prašnom prostredí.

Túto problematiku odporúčame konzultovať s dodávateľom.



1.1.3 Ekvivalentné dynamické zaťaženie

V konštrukčnom uzle je ložisko vystavené všeobecne pôsobiacim silám v rôznej veľkosti, pri rôznej frekvencii otáčania a s rôznou dobou pôsobenia. Z hľadiska metodiky výpočtu je potrebné prepočítať pôsobiace sily na konštantné zaťaženie, pri ktorom bude mať ložisko rovnakú trvanlivosť, akú dosiahne v podmienkach skutočného zaťaženia. Takéto prepočítané konštantné radiálne alebo axiálne zaťaženie nazývame ekvivalentné zaťaženie P_r (radiálne) alebo P_a (axiálne).

Kombinované zaťaženie

Spôsob zaťaženia konštantný

Vonkajšie sily pôsobiace na ložisko sa nemenia ani čo do veľkosti ani v závislosti na čase.

Radiálne ložiská

Ak súčasne pôsobia na radiálne ložisko konštantné sily v radiálnom i axiálnom smere, platí pre výpočet radiálneho dynamického ekvivalentného zaťaženia rovnica

$$P_r = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

P_r	- radiálne ekvivalentné dynamické zaťaženie	[kN]
F_r	- radiálna sila pôsobiaca na ložisko	[kN]
F_a	- axiálna sila pôsobiaca na ložisko	[kN]
X	- koeficient radiálneho zaťaženia	
Y	- koeficient axiálneho zaťaženia	

Koeficienty X a Y sú závislé od pomeru F_a/F_r . Hodnoty X a Y sú uvedené v tabuľkovej časti alebo v komentári pred každou konštrukčnou skupinou ložísk, kde sú uvedené bližšie údaje pre výpočet ložísk príslušnej konštrukčnej skupiny.

Axiálne ložiská

Axiálne guľkové ložiská môžu prenášať iba sily pôsobiace v axiálnom smere a pre výpočet axiálneho dynamického ekvivalentného zaťaženia platí rovnica

$$P_a = F_a$$

P_a	- axiálne dynamické ekvivalentné zaťaženie	[kN]
F_a	- axiálne zaťaženie ložiska	[kN]

Axiálne súdkové ložiská môžu prenášať aj určité radiálne zaťaženie, avšak iba pri súčasnom pôsobení axiálneho zaťaženia, pričom musí byť splnená podmienka $F_r \leq 0,55 F_a$. Axiálne dynamické ekvivalentné zaťaženie sa vypočíta z rovnice

$$P_a = F_a + 1,2 \cdot F_r$$

Spôsob zaťaženia premenlivý

Skutočné premenlivé zaťaženie, ktorého časový priebeh poznáme, sa pre výpočet nahradzuje stredným mysleným zaťažením. Toto myslené zaťaženie má na ložisko rovnaký vplyv ako skutočné premenlivé zaťaženie.

Zmena veľkosti zaťaženia pri stálej frekvencii otáčania

Ak pôsobí na ložisko zaťaženie v stálom smere, ktorého veľkosť sa mení v závislosti na čase, pričom frekvencia otáčania je konštantná (obr. 2), vypočítame stredné myslené zaťaženie F_s podľa rovnice

$$F_s = \left(\sum_{i=1}^n F_i^3 \cdot \frac{q_i}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

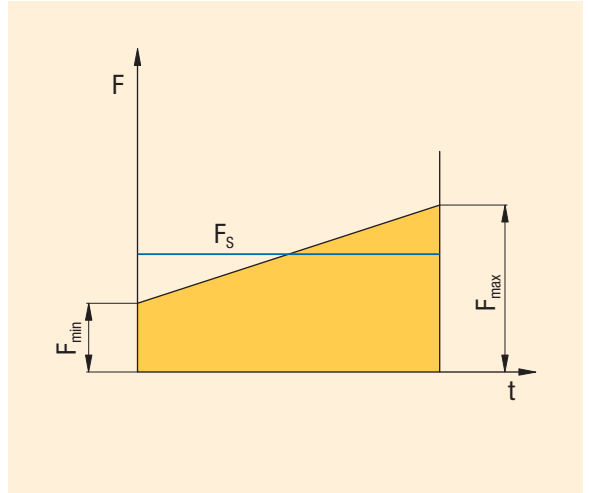
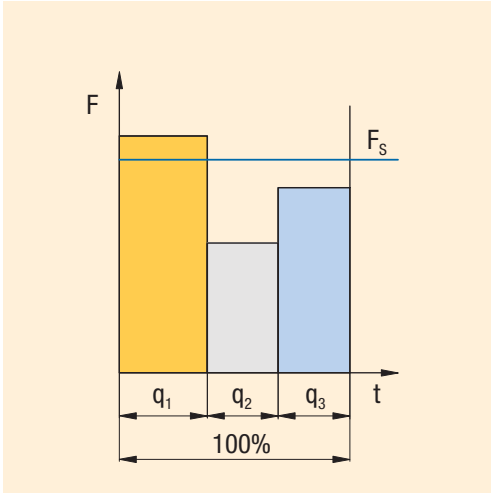
F_s - myslené stredné nepremenné zaťaženie [kN]
 $F_i = F_1, \dots, F_n$ - nepremenné čiastkové skutočné zaťaženia [kN]
 $q_i = q_1, \dots, q_n$ - podiel pôsobenia čiastkových zaťažení [%]

Pri konštantnej frekvencii otáčania s lineárnou zmenou zaťaženia stáleho smeru (obr. 3) sa vypočíta stredné myslené zaťaženie z rovnice

$$F_s = \frac{F_{\min} + 2 \cdot F_{\max}}{3}$$

obr. 2

obr. 3



Ak má skutočné zaťaženie sínusový priebeh (obr. 4), je stredné myslené zaťaženie

$$F_s = 0,75 \cdot F_{\max}$$

Zmena veľkosti zaťaženia pri zmene frekvencie otáčania

Ak pôsobí na ložisko v čase premenlivé zaťaženie a pritom sa mení aj frekvencia otáčania, vypočíta sa stredné myslené zaťaženie z rovnice

$$F_s = \left(\frac{\sum_{i=1}^n F_i^3 \cdot q_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n q_i \cdot n_i} \right)^{\frac{1}{3}}$$

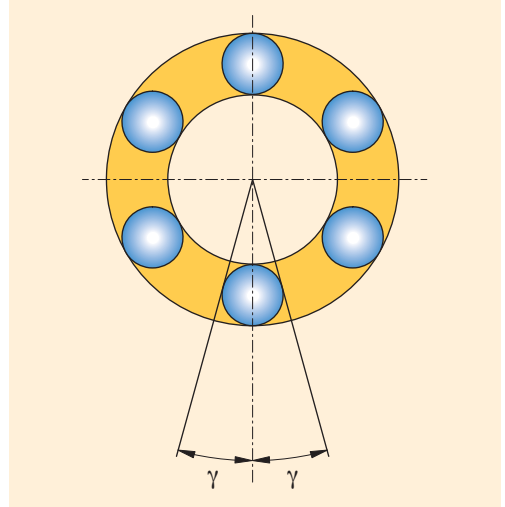
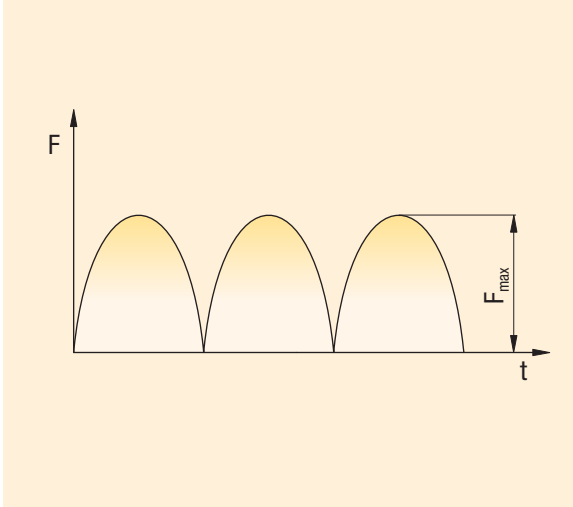
$n_i = n_1, \dots, n_n$ - konštantná frekvencia otáčania v čase pôsobenia čiastkových zaťažení F_1, \dots, F_n [min^{-1}]
 $q_i = q_1, \dots, q_n$ - podiel pôsobenia čiastkových zaťažení a frekvencie otáčania [%]

Ak sa v závislosti na čase mení iba frekvencia otáčania, myslená stredná konštantná frekvencia otáčania sa vypočíta z rovnice

$$n_s = \frac{\sum_{i=1}^n q_i \cdot n_i}{100}$$

n_s = stredná frekvencia otáčania

[min^{-1}]



Pri kývavom pohybe s amplitúdou kývania γ (obr. 5) je najjednoduchšie nahradiť kývavý pohyb myslenu rotáciou, kedy je frekvencia otáčania rovná frekvencii kmitania. Pre radiálne ložiská sa stredné myslené zaťaženie vypočíta z rovnice

$$F_s = F_r \left(\frac{\gamma}{90} \right)^{\frac{1}{p}}$$

- F_s - stredné myslené zaťaženie [kN]
- F_r - skutočné radiálne zaťaženie [kN]
- γ - amplitúda kývavého pohybu [°]
- p - mocniteľ $p = 3$ pre guľkové ložiská
 $p = 10/3$ pre valčekové, ihlové, súdkové a kuželíkové ložiská

1.1.4 Vplyv teploty

Dodávaný sortiment ložísk je určený pre použitie v prostredí s teplotou do 120°C. Výnimku tvoria dvojradové súdkové ložiská, ktoré môžu pracovať pri teplotách až do 180°C a jednoradové guľkové ložiská s tesnením (RS, 2RS, RSR, 2RSR, RSR2, -2RSR2) použiteľné do teploty 110°C, s tesnením RS2, -2RS2, RSR2, -2RSR2 použiteľné do teploty 180°C.

Pre vyššie prevádzkové teploty sú valivé ložiská vyrobené tak, aby sa zabezpečili ich potrebné fyzikálne - mechanické vlastnosti a rozmerová stabilita. Riešenie uloženia pri vyšších prevádzkových teplotách odporúčame konzultovať s dodávateľom.

Hodnoty základnej dynamickej únosnosti C , alebo C_a uvádzané v tabuľkovej časti publikácie, je potrebné násobiť koeficientom f_t , ktorý je vedený v tabuľke 7.

Hodnoty koeficienta f_t	Tab. 7			
prevádzková teplota do [°C]	150	200	250	300
koeficient f_t	0,95	0,9	0,75	0,6

1.2 STATICKÉ ZAŤAŽENIE

1.2.1 Základná statická únosnosť

Radiálna základná statická únosnosť C_{or} a axiálna základná statická únosnosť C_{oa} je pre každé ložisko uvedená v tabuľkovej časti publikácie. Hodnoty C_{or} a C_{oa} boli stanovené výpočtom podľa medzinárodnej normy STN ISO 76.

Základná statická únosnosť je zaťaženie, ktoré zodpovedá vypočítaným stykovým napätiam v najviac zaťaženom pásme styku valivého telesa a obežnej dráhy ložiska:

- 4600 MPa pre dvojradowé naklápacie guľkové ložiská
- 4200 MPa pre ostatné guľkové ložiská
- 4000 MPa pre valčekové, ihlové, súdkové a kuželíkové ložiská

1.2.2 Ekvivalentné statické zaťaženie

Ekvivalentné statické zaťaženie je prepočítané radiálne zaťaženie P_{or} pre radiálne ložiská a axiálne osovú zaťaženie P_{oa} pre axiálne ložiská.

$$P_{or} = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a$$

$$P_{oa} = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a$$

P_{or}	- radiálne ekvivalentné statické zaťaženie	[kN]
P_{oa}	- axiálne ekvivalentné statické zaťaženie	[kN]
F_r	- radiálne zaťaženie	[kN]
F_a	- axiálne zaťaženie	[kN]
X_o	- koeficient radiálneho zaťaženia	
Y_o	- koeficient axiálneho zaťaženia	

Koefficient s_0			Tab. 8
Pohyb ložiska	Spôsob zaťaženia, požiadavky na chod ložiska	s_0 Guľkové ložiská	s_0 Valčekové, ihlové, súdkové, kuželíkové ložiská
otáčavý	výrazné nárazové zaťaženie, vysoké požiadavky na pokojný chod	2	4
	po statickom zaťažení sa ložisko otáča pri menšom zaťažení	1,5	3
	normálne požiadavky na pokojný chod		
	normálne prevádzkové pomery a normálne požiadavky na chod	1	1,5
kývavý	pokojný chod bez otrasov	0,5	1
	malý uhol výkyvu s veľkou frekvenciou s nárazovým nerovnomerným zaťažením	2	3,5
neotáčavý (v pokoji)	veľký uhol výkyvu s malou frekvenciou a s približne stálym periodickým zaťažením	1,5	2,5
	výrazné nárazové zaťaženie	1,5 až 1	3 až 2
	normálne a malé zaťaženie, na chod ložiska nie sú kladené zvláštne nároky	1 až 0,4	2 až 0,8
	axiálne súdkové ložiská pri všetkých druhoch pohybu a zaťaženia	-	4

Koeficienty X_o a Y_o sú uvedené pre jednotlivé ložiská v tabuľkovej časti publikácie. Zároveň sú tu uvedené bližšie údaje pre stanovenie ekvivalentného statického zaťaženia ložísk danej konštrukčnej skupiny.

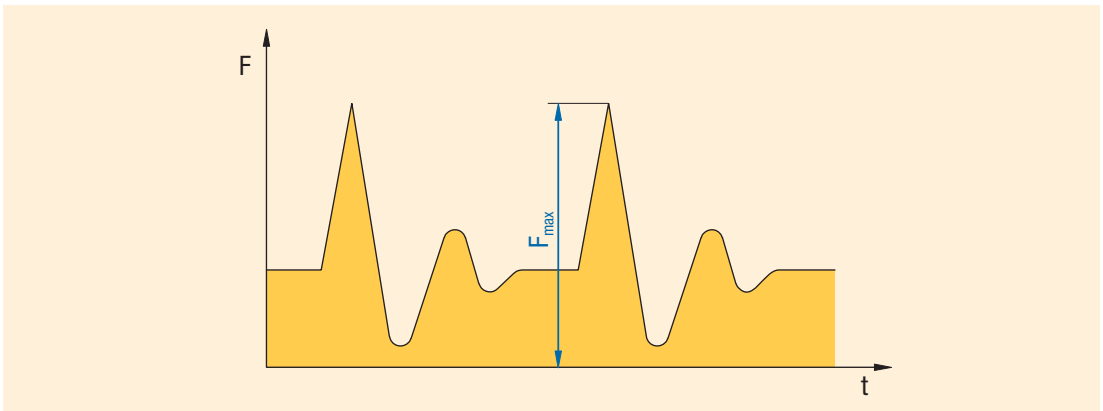
1.2.3 Bezpečnosť ložísk pri statickom zaťažení

V praxi sa bezpečnosť ložísk pri statickom zaťažení zisťuje z pomeru C_{or}/P_{or} alebo C_{oa}/P_{oa} a porovnáva sa s údajmi v tabuľke 8, kde sú uvedené hodnoty najmenších prípustných koeficientov s_o pre rôzne prevádzkové podmienky.

$$s_o = \frac{C_{or}}{P_{or}} \quad \text{alebo} \quad \frac{C_{oa}}{P_{oa}}$$

s_o	- koeficient bezpečnosti pri statickom zaťažení	
C_{or}	- radiálna základná dynamická únosnosť	[kN]
C_{oa}	- axiálna základná dynamická únosnosť	[kN]
P_{or}	- radiálne ekvivalentné statické zaťaženie, resp. pri výraznom nárazovom zaťažení max. pôsobiaca nárazová sila $F_{r \max}$ (obr. 6)	[kN]
P_{oa}	- axiálne ekvivalentné statické zaťaženie, resp. pri výraznom nárazovom zaťažení max. pôsobiaca nárazová sila $F_{a \max}$ (obr. 6)	[kN]

obr. 6



1.3 MEDZNÁ FREKVENCIA OTÁČANIA

Medzná frekvencia otáčania závisí od typu ložiska, jeho presnosti, vyhotovenia kľetky, vnútornej vôle, prevádzkových pomerov v uložení, spôsobu mazania a od radu ďalších okolností. Tento súhrn vplyvov určuje vývin tepla v ložisku, a tým i obmedzenú frekvenciu otáčania, ktorá je predovšetkým obmedzená prevádzkovou teplotou maziva. Pre orientáciu sú v tabuľkovej časti publikácie uvedené hodnoty medzných frekvencií otáčania pre jednotlivé ložiská v normálnom stupni presnosti pre prípad mazania plastickým mazivom alebo olejom. Uvedené hodnoty platia za predpokladu primeraného zaťaženia ($L_{10h} \geq 100\,000$ h), normálnych prevádzkových pomerov a chladenia.

Vplyv väčšieho zaťaženia sa prejavuje najmä u ložísk väčších rozmerov s trvanlivosťou $L_{10h} < 100\,000$ h, kde je potrebné počítať so znížením hodnôt medznej frekvencie otáčania. Rovnako je potrebné redukovat' hodnoty medznej frekvencie otáčania aj u radiálnych ložísk, ktoré sú trvale zaťažené relatívne veľkou axiálnou silou. Výsledná hodnota frekvencie otáčania je závislá od pomeru axiálneho a radiálneho zaťaženia F_a/F_r . Ak je $F_a/F_r > 0,6$, odporúča sa zvlášť pre dvojradové naklápacie guľkové ložiská, dvojradové súdkové ložiská a jednoradové kuželíkové ložiská konzultovať hodnoty medznej frekvencie s dodávateľom. Uvádzanú medznú frekvenciu otáčania je možné prekročiť u guľkových ložísk až 3-krát, valčekových ložísk 2-krát, pre ostatné ložiská okrem súdkových a kuželíkových ložísk až 1,5-krát a pre súdkové 1,3-krát.

Toto prekročenie pravidla vyžaduje:

- úpravu mazania a chladenia
- zvýšenú presnosť ložiska a tomu zodpovedajúcu presnosť súčastí súvisiacich s ložiskom
- väčšiu radiálnu vôľu ako normálnu
- kľetku vhodnej konštrukcie a materiálu

V týchto prípadoch je nevyhnutné konzultovať použitie ložiska so spomínanými odbornými pracovníkmi.