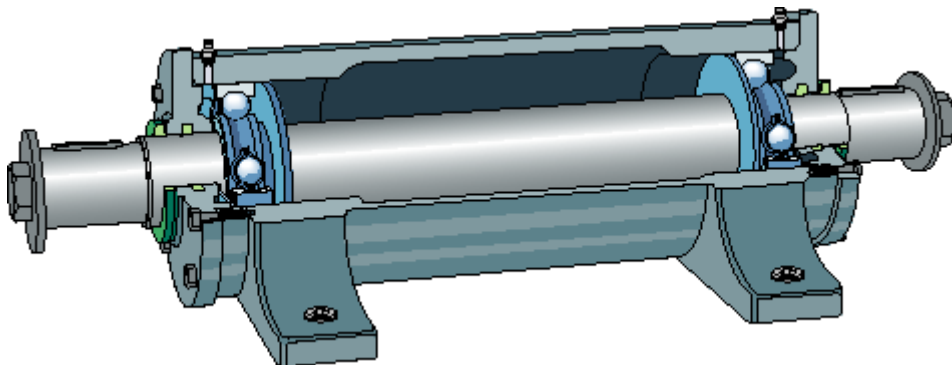


MISKOLCI EGYETEM

GÉP- ÉS TERMÉKTERVEZÉSI
TANSZÉK

OKTATÁSI SEGÉDLET
a
GÉPELEMEK
c. tantárgyhoz

GÖRDÜLŐCSAPÁGYAK élettartam-számítása



Összeállította:

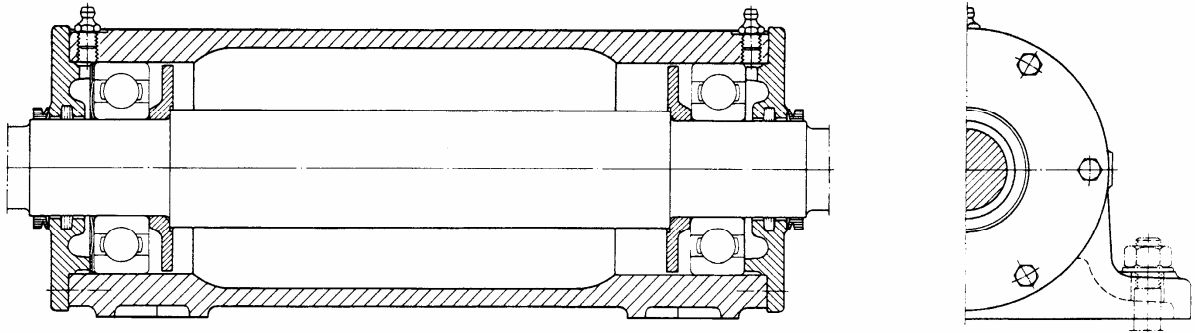
Dr. Sente József
egyetemi docens

Miskolc, 2010.

Gördülőcsapágyazás kétcsapágyas egységekkel

Az SKF gördülőcsapágy-gyártó vállalat kínálatában szerepelnek olyan különleges csapágyegységek, amelyeket szerelt állapotban - a csapágyházba beszerelt tengellyel, csapágyakkal, tömítéssel, kenőanyaggal feltöltve - szállítanak.

PDN kétcsapágyas egység látható az 1. ábrán. A PDN jelölésű házakat eredetileg ventilátor tengelyek csapágyazásához tervezték, olyan esetekre, amikor a ventilátorkerék konzolon helyezkedik el. Később kiderült, hogy más alkalmazásokhoz is kiváló megoldást jelentenek, így centrifugál szivattyúkhoz, körfűrészekhez vagy köszörű orsókhoz.



1. ábra. PDN kétcsapágyas egység [1]

A PDN kétcsapágyas házak egy darabból készülnek, anyaguk szürke vasöntvény (GG 25). Ugyanebből az anyagból készülnek a ház két végén lévő fedelek. A két csapágyfészek megmunkálása egy felfogásban történik, így biztosítva van az egytengelyűségük. A fészekfuratok tűrése G6.

A PDN házakba többféle gördülőcsapágy is beépíthető. A két csapágyfészek eltérő szélességű, a szélesebb alkalmas két csapágy, pl. párosított csapágyak beszerelésére is. A PDNB jelű alapváltozatot két mélyhornyú golyóscsapággal szerelik fel. Az egyik csapágy rugós megtámasztású, ezáltal biztosítható a hézag nélküli vagy egy kis előfeszítéssel történő beépítés. A további megoldásokat ferde hatásvonalú golyóscsapágy, hengergörgős csapágy és mélyhornyú golyóscsapágy különféle párosításai alkotják.

A PDN házakat az állványra vagy alapra négy csavarral rögzítik. Az oldalfedeleket négy vagy hat csavarral szerelik a csapágyházhoz. A nagyobb csapágyházakon szemescsavarok találhatóak a szállítás és a szerelés megkönnyítésére.

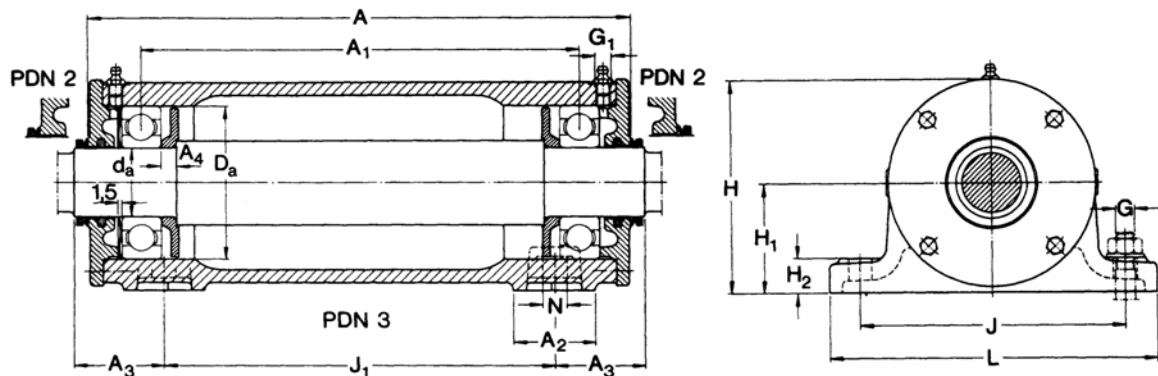
A PDN házakkal szállított tengelyek méreteit a 3. ábra mutatja és a 3. táblázat tartalmazza. A csapágyak alatt a csap tűrése k6. A tengely két végén a csatlakozó alkatrészek rögzítéséhez két reteszt és két tárcsát szállítanak. Az utóbbihoz rögzítő csavarok is tartoznak. A tengely két végén a csap tűrése j6, k6 vagy m6.

A PDN csapágyházakat zsírkenésre tervezték, és mindkét végükön zsírzóval rendelkeznek. A csapágyházban lévő szabályozó tárcsa a felesleges zsírmennyiséget a ház közepére hordja, ahol kellő hely áll rendelkezésre, így elkerülhető, hogy túl sok zsír kerüljön a csapágyakhoz.

A csapágyházak kettős tömítéssel rendelkeznek. A PDN 200 sorozatú házaknak réstömítése van, a PDN 300 jelzésű házak nemeztömítésűek. Mindkét esetben a tömítések V-gyűrűkkel vannak kiegészítve.

A kétsapágyas egység adatai

A csapágyegységek fő méretei a 2. ábrán láthatók, a méretek számértékeit az 1. táblázat tartalmazza.



2. ábra. PDN csapágyegység méretei [1]

1. táblázat. PDN csapágyegység méretei [1]

Tengely Csapágyház Méretek														Tömeg Jel			
d_a	A	A_1	A_2	A_3	A_4	D_a	H	H_1	H_2	J	J_1	L	N	G	G_1	kg	-
mm	mm														kg	-	
25	202	146,5	35	40,5	7	62	95	50	16	120	135	155	12	10	G 1/8	5,10	PDN 305
	197	147,5	35	37,5	7	62	95	50	16	120	135	155	12	10	G 1/8	5,10	PDN 206
30	226	171,5	40	45	7	72	100	50	18	130	150	160	15	12	G 1/8	6,50	PDN 306
	227	173,5	40	45	7	72	100	50	18	130	150	160	15	12	G 1/8	6,50	PDN 207
35	260	195,5	45	49,5	8	80	116	60	18	150	175	190	15	12	G 1/8	9,10	PDN 307
	259	198,5	45	49,5	8	80	116	60	18	150	175	190	15	12	G 1/8	9,30	PDN 208
40	315	255,5	52	53	10	90	121	60	20	150	225	190	15	12	G 1/8	12,5	PDN 308
	314	258,5	52	52	10	90	121	60	20	150	225	190	15	12	G 1/8	12,5	PDN 210
45	360	279,5	52	63	10	100	137	70	22	170	250	210	15	12	G 1/8	15,0	PDN 309
	377	311,5	60	59	10	110	142	70	25	170	275	210	15	12	G 1/8	18,0	PDN 211
50	422	335,5	60	69	10	120	158	80	25	210	300	260	19	16	G 1/8	23,0	PDN 311
	356	283,5	52	60,5	10	100	137	70	22	170	250	210	15	12	G 1/8	15,0	PDN 211
55	460	383,5	70	68	10	130	165	80	25	210	340	260	19	16	G 1/8	32,5	PDN 312
	376	316,5	60	58	10	110	142	70	25	170	275	210	15	12	G 1/8	18,0	PDN 212
60	492	402,5	70	74	11	140	185	95	25	230	360	280	19	16	G 1/4	32,0	PDN 313
	459	390,5	70	69	10	125	165	80	25	210	340	260	19	16	G 1/8	34,5	PDN 214
70	512	420,5	70	76	11	150	190	95	25	230	380	290	19	16	G 1/4	38,0	PDN 314
	459	389,5	70	69	10	130	165	80	25	210	340	260	19	16	G 1/8	32,0	PDN 215
75	547	448,5	80	83,5	12	160	200	100	30	260	400	320	19	16	G 1/4	43,5	PDN 315
	493	409,5	70	76	11	140	185	95	25	230	360	280	19	16	G 1/4	31,0	PDN 216
80	556	466,5	80	78	12	170	220	112	30	260	420	320	19	16	G 1/4	49,5	PDN 316
	590	486	80	85	12	180	225	112	30	290	440	350	19	16	G 1/4	61,0	PDN 317
85	605	510	85	82,5	11	190	230	112	30	290	460	350	19	16	G 1/4	71,0	PDN 318
	543	455,5	80	81	12	160	200	100	30	260	400	320	19	16	G 1/4	42,5	PDN 218
90	605	510	85	82,5	11	190	230	112	30	290	460	350	19	16	G 1/4	71,0	PDN 318

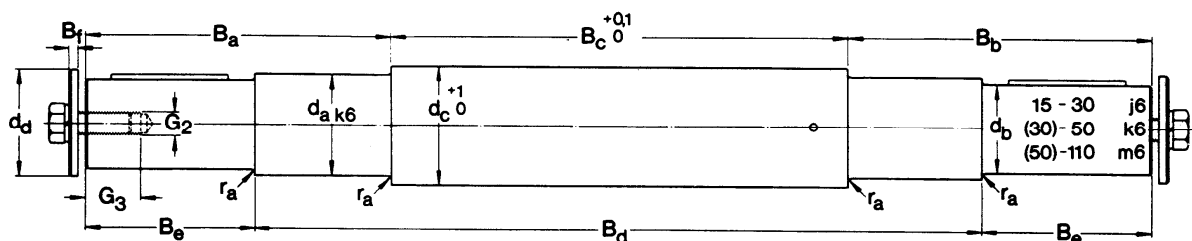
A csapágyházba beépítendő elemeket (gördülőcsapágyak, tengely, stb.) a 2. táblázat tartalmazza. Az alapváltozatba mélyhornyú golyóscsapágyak kerülnek, ekkor a csapágyegység jele PDNB.

2. táblázat. PDNB csapágyegység tartozékai [1]

Tengely d_a	Hozzá tartozó csapágy	Különálló Rugós alátét	alkatrészek V-gyűrű	Nemezcsik	Kétsapágyas egység Jel Egység tengellyel együtt	Tengely	Megenged- hető fordú- latszám, zsírkenés	Tö- meg kg
mm	-	-	-	-	-	-	min^{-1}	kg
25	6305	WF-62	V-25 A	FS 190	PDNB 305	VJ-PDNB 305	11 000	7,00
30	6206 6306	WF-62 WF-72	V-30 A V-30 A	- FS 190	PDNB 206 PDNB 306	VJ-PDNB 206 VJ-PDNB 306	10 000 9 000	7,40 9,60
35	6207 6307	WF-72 WF-80	V-35 A V-35 A	- FS 190	PDNB 207 PDNB 307	VJ-PDNB 207 VJ-PDNB 307	9 000 8 500	10,0 13,5
40	6208 6308	WF-80 WF-90	V-40 A V-40 A	- FS 190	PDNB 208 PDNB 308	VJ-PDNB 208 VJ-PDNB 308	8 500 7 500	14,5 19,5
45	6309	WF-100	V-45 A	FS 190	PDNB 309	VJ-PDNB 309	6 700	24,0
50	6210 6310	WF-90 WF-110	V-50 A V-50 A	- FS 260	PDNB 210 PDNB 310	VJ-PDNB 210 VJ-PDNB 310	7 000 6 300	22,5 29,5
55	6211 6311	WF-100 WF-120	V-55 A V-55 A	- FS 260	PDNB 211 PDNB 311	VJ-PDNB 211 VJ-PDNB 311	6 300 5 600	27,5 39,5
60	6212 6312	WF-110 WF-130	V-60 A V-60 A	- FS 260	PDNB 212 PDNB 312	VJ-PDNB 212 VJ-PDNB 312	6 000 5 000	33,0 52,5
65	6313	WF-140	V-65 A	FS 260	PDNB 313	VJ-PDNB 313	4 800	57,0
70	6214 6314	WF-125 WF-150	V-70 A V-70 A	- FS 330	PDNB 214 PDNB 314	VJ-PDNB 214 VJ-PDNB 314	5 000 4 500	60,5 68,5
75	6215 6315	WF-130 WF-160	V-75 A V-75 A	- FS 330	PDNB 215 PDNB 315	VJ-PDNB 215 VJ-PDNB 315	4 800 4 300	62,0 80,5
80	6216 6316	WF-140 WF-170	V-80 A V-80 A	- FS 330	PDNB 216 PDNB 316	VJ-PDNB 216 VJ-PDNB 316	4 500 3 800	67,0 92,0
85	6317	-	V-85 A	FS 330	PDNB 317	VJ-PDNB 317	3 600	115
90	6218 6318	WF-160 -	V-90 A V-90 A	- FS 370	PDNB 218 PDNB 318	VJ-PDNB 218 VJ-PDNB 318	3 800 3 400	96,5 135

A csapágyházba beépített tengelyek

A tengelyek méretei a 3. ábrán láthatók, számszerű értéküket a 3. táblázat tartalmazza.



3. ábra. A tengelyek méretei [1]

3. táblázat. A PDN 200 és PDN 300 sorozat tengelyei [1]

Csapágy- ház jele	Tengely Méreték														Retesz (ISO/R 773, DIN 6885)	Tömeg SKF ten- gely jele	
	d _a	d _b	d _c	d _d	B _a	B _b	B _c	B _d	B _e	B _f	r _a	G ₂	G ₃				
-	mm														-	kg	-
PDN 206	30	24	39	32	97	95,5	117,5	210	50	4	0,8	10	27	8×7×40	1,80	VJ-PDNB 206	
PDN 207	35	28	44	36	109,5	108	142,5	240	60	4	1,2	10	27	8×7×40	2,85	VJ-PDNB 207	
PDN 208	40	32	49	40	135,5	134	164,5	274	80	5	1,2	12	30	10×8×63	4,25	VJ-PDNB 208	
PDN 210	50	42	59	50	166	164,5	218,5	329	110	6	1,6	16	36	12×8×80	7,65	VJ-PDNB 210	
PDN 211	55	48	64	63	175	173,5	242,5	371	110	6	1,6	16	40	14×9×80	10,5	VJ-PDNB 211	
PDN 212	60	48	69	63	169	167,5	274,5	391	110	6	1,6	16	40	14×9×80	13,0	VJ-PDNB 212	
PDN 214	70	60	79	70	206,5	205	346,5	478	140	6	1,6	16	40	18×11×100	23,0	VJ-PDNB 214	
PDN 215	75	65	84	78	207,5	206	344,5	478	140	6	1,6	20	46	18×11×100	26,5	VJ-PDNB 215	
PDN 216	80	70	89	90	216	214,5	361,5	512	140	6	1,6	20	46	20×12×100	31,5	VJ-PDNB 216	
PDN 218	90	80	104	100	251	249,5	401,5	562	170	8	1,6	20	46	22×14×140	47,5	VJ-PDNB 218	
PDN 220	100	90	114	105	256	256	435	607	170	8	2,5	24	52	25×14×140	61,0	VJ-PDNB 220	
PDN 222	110	100	124	115	296,5	296,5	483	656	210	8	2,5	24	52	28×16×180	83,0	VJ-PDNB 222	
PDN 224	120	110	134	132	300	300	514	694	210	12	2,5	30	60	28×16×180	102	VJ-PDNB 224	
Csapágy- ház jele	Tengely Méreték														Retesz (ISO/R 773, DIN 6885)	Tömeg SKF ten- gely jele	
	d _a	d _b	d _c	d _d	B _a	B _b	B _c	B _d	B _e	B _f	r _a	G ₂	G ₃				
-	mm														-	kg	-
PDN 305	25	19	34	28	91	89,5	115,5	216	40	4	0,8	8	20	6×6×32	1,40	VJ-PDNB 305	
PDN 306	30	24	39	32	101,5	100	138,5	240	50	4	0,8	10	27	8×7×40	2,20	VJ-PDNB 306	
PDN 307	35	28	44	36	118,5	117	158,5	274	60	4	1,2	10	27	8×7×40	3,35	VJ-PDNB 307	
PDN 308	40	32	49	40	140	138,5	212,5	331	80	5	1,2	12	30	10×8×63	5,25	VJ-PDNB 308	
PDN 309	45	38	54	45	151,5	150	234,5	376	80	5	1,2	12	30	10×8×63	7,30	VJ-PDNB 309	
PDN 310	50	42	59	50	175	173,5	264,5	393	110	6	1,6	16	30	12×8×80	9,85	VJ-PDNB 310	
PDN 311	55	48	64	63	186,5	185	286,5	438	110	6	1,6	16	40	14×9×80	13,0	VJ-PDNB 311	
PDN 312	60	48	69	63	182,5	181	332,5	476	110	6	1,6	16	40	14×9×80	15,5	VJ-PDNB 312	
PDN 313	65	55	74	70	191	189,5	347,5	508	110	6	1,6	16	40	16×10×80	19,5	VJ-PDNB 313	
PDN 314	70	60	79	70	225	223,5	363,5	532	140	6	1,6	16	40	18×11×100	25,0	VJ-PDNB 314	
PDN 315	75	65	84	78	230,5	229	387,5	567	140	6	1,6	20	46	18×11×100	30,0	VJ-PDNB 315	
PDN 316	80	70	89	90	227	225,5	403,5	576	140	6	1,6	20	46	20×12×100	34,5	VJ-PDNB 316	
PDN 317	85	75	99	90	234,5	234,5	421	610	140	6	1,6	20	46	20×12×100	43,0	VJ-PDNB 317	
PDN 318	90	80	104	100	260	260	445	625	170	8	1,6	20	46	22×14×140	51,0	VJ-PDNB 318	
PDN 319	95	85	109	100	269,5	269,5	469	668	170	8	2,5	20	46	22×14×140	59,5	VJ-PDNB 319	
PDN 320	100	90	114	105	266,5	266,5	500	693	170	8	2,5	24	52	25×14×140	67,5	VJ-PDNB 320	
PDN 322	110	100	124	115	309,5	309,5	510	709	210	8	2,5	24	52	28×16×180	87,5	VJ-PDNB 322	
PDN 324	120	110	134	132	314	314	522	730	210	12	2,5	30	60	28×16×180	106	VJ-PDNB 324	

Műszaki adatok

A feladat alapadatait a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat. A feladat adatai

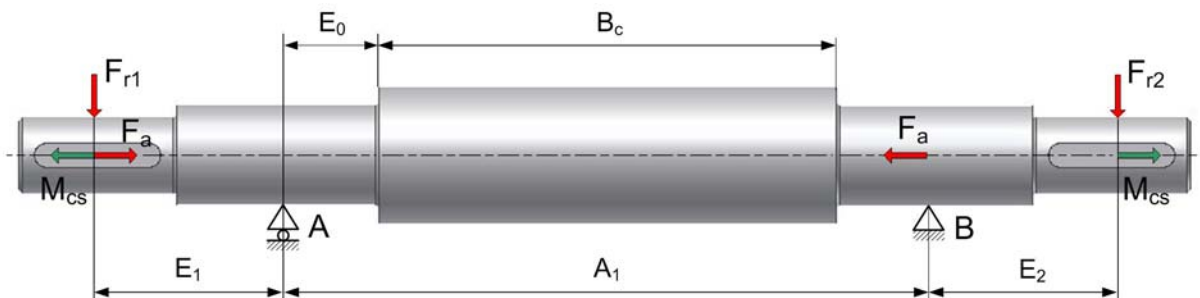
Sor-szám	Jel	F_{r1} N	F_{r2} N	F_a N	n min^{-1}
1.	PDNB 305	1800	1440	540	1600
2.	PDNB 206	1600	1280	480	1550
3.	PDNB 306	2300	1840	690	1500
4.	PDNB 207	2100	1680	630	1450
5.	PDNB 307	2800	2240	840	1400
6.	PDNB 208	2600	2080	780	1350
7.	PDNB 308	3500	2800	1050	1300
8.	PDNB 309	4600	3680	1380	1250
9.	PDNB 210	3100	2480	930	1200
10.	PDNB 310	5500	4400	1650	1150
11.	PDNB 211	4100	3280	1230	1000
12.	PDNB 311	6800	5440	2040	950
13.	PDNB 212	4600	3680	1380	900
14.	PDNB 312	8100	6480	2430	850
15.	PDNB 313	9300	7440	2790	800

A gördülőcsapágyak kenésére az SKF LGMT 2 típusjelű kenőzsírt használják. A zsír az általános gépgyártásban és a járműiparban elterjedten alkalmazott zsírtípus. -30 °C és $+120\text{ °C}$ hőmérséklet határok között használható. Az alapolaj viszkozitása 40 °C -on $\nu_{40} = 110\text{ mm}^2/\text{s}$, 100 °C -on $\nu_{100} = 11\text{ mm}^2/\text{s}$.

A gördülőcsapágyak környezetének üzemi hőmérséklete: $T_{\text{ü}} = 65\text{ °C}$.

A csapágyegység terhelése

A két helyen gördülőcsapágyakkal megtámasztott tengelyt a két végsappon F_{r1} és F_{r2} radiális erő, a baloldali tengelyvégen F_a axiális erő, valamint az erők között M_{cs} csavarónyomaték terheli (4. ábra). Az axiális erőt a B jelű csapágy veszi fel.



4. ábra. A tengely terhelése

A csapágyak és a terhelések helyét a csapágyegység, a csapágyak, valamint a tengely méreteiből lehet meghatározni.

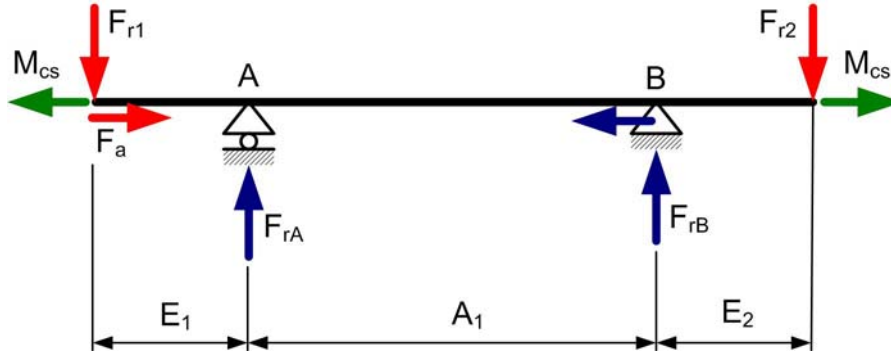
$$E_0 = A_4 + B/2,$$

$$E_1 = B_a - E_0 - B_e/2,$$

$$E_2 = B_b - E_0 - B_e/2.$$

B_a , B_b és B_e a tengely méretei (3. táblázat), A_4 a zsírmennyiség szabályozó tárcsa szélessége (1. táblázat), B a csapágyak szélessége.

A csapágyak terhelése



5. ábra. A tengely terhelése és a támasztóerők

A gördülőcsapágyak radiális terhelését a csapágyazási helyekre felírt nyomaték-egyensúlyi egyenletekből lehet meghatározni. A támasztóerők:

$$F_{rA} = \frac{F_{r1}(E_1 + A_1) - F_{r2}E_2}{A_1},$$

$$F_{rB} = \frac{F_{r2}(E_2 + A_1) - F_{r1}E_1}{A_1}.$$

A csapágyak egyenértékű dinamikus terhelését kétféle módon lehet meghatározni attól függően, hogy milyen a terhelések aránya:

$$P = F_r, \quad \text{ha } F_a/F_r \leq e$$

$$P = XF_r + YF_a \quad \text{ha } F_a/F_r > e.$$

Az összefüggésekben

X a radiális terhelés tényezője,

Y az axiális terhelés tényezője,

F_r a csapágy radiális terhelése, N;

F_a a csapágy axiális terhelése, N;

e a terhelési viszonyszám tényezője.

A terhelést befolyásoló tényezők az F_a/C_0 hányados függvényei. C_0 a csapágy statikus alapterhelése.

5. táblázat. A terhelési tényezők

F_a/C_0	e	X	Y
0,025	0,22	0,56	2
0,04	0,24	0,56	1,8
0,07	0,27	0,56	1,6
0,13	0,31	0,56	1,4
0,25	0,37	0,56	1,2
0,5	0,44	0,56	1

Az A jelű csapágyat csak radiális erő terheli, ezért $P_A = F_{rA}$.

Mivel az axiális erőt a B jelű csapágy veszi fel, meg kell vizsgálni az F_a/F_{rB} arányt. Ennek értéke dönti el az egyenértékű dinamikus terhelés számításának módját.

A csapágyak élettartama

A gördülőcsapágyak alapélettartama:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p,$$

ahol L_{10} az alapélettartam, millió körülfordulás;

C a dinamikus alapterhelés, N;

P a dinamikus egyenértékű terhelés, N;

p az élettartam kitevő, mely golyóscsapágyakra $p = 3$, görgőscsapágyakra $p = 10/3$.

Az üzemórákban számított élettartam:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} L_{10}.$$

Itt L_{10h} az élettartam, h;

n a fordulatszám, 1/min;

L_{10} az élettartam, millió körülfordulás.

A csapágyak módosított élettartama

A módosított élettartam-egyenlet lehetőséget biztosít a 90%-tól eltérő megbízhatóság, különleges anyagok használatának, valamint a kenés hatékonyságának a figyelembevételére:

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10},$$

ahol L_{na} a módosított élettartam, millió körülfordulás;

a_1 az élettartam-tényező, amely figyelembe veszi a megbízhatóságot;

a_{23} az élettartam-tényező, amely figyelembe veszi a kenés hatékonyságát;

L_{10} az alapélettartam, millió körülfordulás.

Az a_1 élettartam-tényezőt a megbízhatóság függvényében a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat. a_1 élettartam-tényező

a_1 élettartam-tényező	Megbízhatóság %
1	90
0,62	95
0,53	96
0,44	97
0,33	98
0,21	99

Az a_{23} tényező számszerű értékei annak függvényében változnak, hogy a ténylegesen felhasznált kenőanyag üzemi hőmérsékleten meghatározott v kinematikai viszkozitása hogyan aránylik a kielégítő kenés biztosításához az adott hőmérsékleten elméletileg szükséges v_1 viszkozitáshoz.

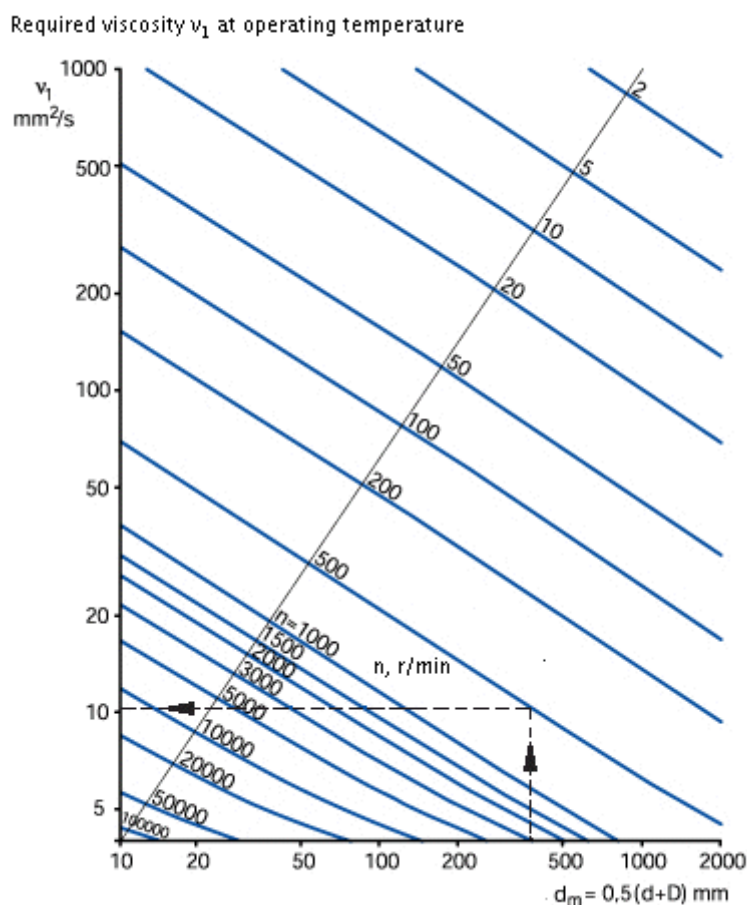
7. táblázat. a_{23} élettartam-tényező

v/v_1	0,5	1	1,5	2	3	4
a_{23}	0,7	1	1,3	1,6	2,0	2,4

A kielégítő kenést biztosító v_1 viszkozitás a 6. ábra segítségével határozható meg. Az ábrán n a fordulatszám, min^{-1} ;

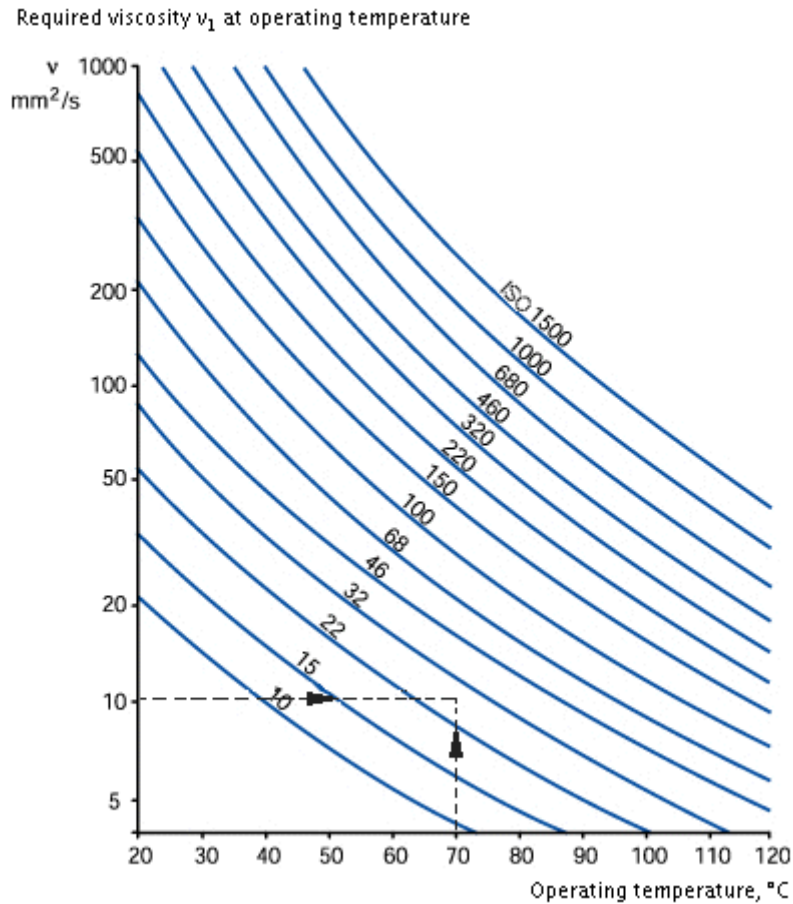
d_m a csapágy közepes átmérője: $d_m = (D+d)/2$, ahol d a furatátmérő, D a palástátmérő.

A viszkozitás meghatározása a mintaként berajzolt módon történik. A vízszintes tengelyen felmérjük a közepes átmérő értékét, majd függőlegesen a csapágy fordulatszámának megfelelő ferde vonalra vetítjük. A metszéspontból vízszintesen a v_1 tengelyre vetítve kapjuk meg a viszkozitás számértékét. A munkát megnehezíti, hogy mindkét koordinátatengely logaritmikus léptékű, ahogyan a fordulatszámok megadása is. Ennek megfelelően nagyon körültekintően kell eljárni, hogy elegendően pontos adatokhoz jussunk.



6. ábra. A kielégítő kenést biztosító viszkozitás az üzemi hőmérsékleten [2]

A kenőanyag üzemi hőmérsékleten érvényes viszkozitását a 7. ábrából lehet meghatározni. A vízszintes tengelyre az üzemi hőmérsékletet kell felmérni, a görbe sorozat a kenőolajok (kenőzsír esetén az alapolaj) ISO VG besorolásának megfelelően készült. A görbéken szereplő számok az adott olaj mm^2/s -ban kifejezett viszkozitását jelentik 40°C -on.



7. ábra. A kenőanyag üzemi hőmérsékleten érvényes viszkozitása [2]

A 7. ábrán a szaggatott vonal az olaj kiválasztásra mutat mintapéldát. Ebben a feladatban a viszkozitást kell meghatározni, ezért a sorrend a következő:

- az üzemi hőmérséklet felmérése a vízszintes tengelyre,
- vetítés függőlegesen a megfelelő görbére (esetünkben a kenőzsír alapolaj viszkozitása 40 $^\circ\text{C}$ -on 110 mm^2/s),
- a metszéspontból vetítés vízszintesen a v tengelyre.

Irodalom

[1] SKF Főkatalógus. 4000 H. 1989.

[2] Interactive Catalogue. www.skf.com