

2. MEKANIikka

2.1. Mekaniikan peruskaavoja

2.1.1. Eräitä liikettä koskevia kaavoja

Matka s , nopeus $v = \frac{ds}{dt}$, kiihtyvyys $a = \frac{d^2s}{dt^2}$, massa m .

Tasaisesti kiihtyvässä ja tasaisesti hidastuvassa ($a = \text{vakio}$) liikkeessä ovat voimassa seuraavat yhtälöt

Tasaisesti kiihtyvä liike	Tasaisesti hidastuva liike
$v = v_0 + at$	$v = v_0 - at$
$s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t$	$s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t$
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$
$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$	$s = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$
$v = \sqrt{v_0^2 + 2as}$	$v = \sqrt{v_0^2 - 2as}$

2.1.2. Eräitä pyörivää liikettä koskevia kaavoja

Suuretta, joka kuvaa pyörivän kappaleen pyrkimystä vastustaa muutosta sen liiketilassa, nimitetään **hitausmomentiksi (inertiamomentiksi)**, joka yleisessä muodossa ilmenee lausekkeesta.

$$J = \int r^2 dm,$$

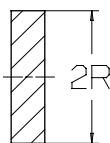
jossa r = massa-alkion dm etäisyys pyörimisakselista,
 m = kappaleen massa.

Hitausmomentin dimensio = massayksikkö \times (pituusyksikkö)². Jos J_p on hitausmomentti painopisteen kautta kulkevan akselin suhteen, niin toisen samansuuntaisen akselin suhteen (akselien välinen etäisyys = a) hitausmomentti on aina suurempi.

$$J = J_p + ma^2$$

Umpinaisen sylinterin, jonka massa on m ja ulkohalkaisija $2R$ hitausmomentti on

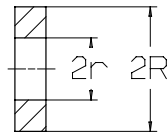
$$J = m \cdot \frac{R^2}{2}$$



KUVA 2.1a. Umpinaisen sylinterin hitausmomentti.

ja rengassylinterin, jonka ulkohalkaisija on $2R$ ja sisähalkaisija $2r$

$$J = m \cdot \frac{R^2 + r^2}{2}$$



KUVA 2.1b. Rengassylinterin hitausmomentti.

Jos massa on annettu kg:na ja säde m:nä, saadaan hitausmomentin yksiköksi kgm^2 . Toinen usein käytetty yksikkö on Nms^2 . Anglosaksisissa maissa merkitään hitausmomentti WR^2 tai Wk^2 ja silloin käytetään yksikköä $\text{lb}\cdot\text{ft}^2$. Hitausmomenttisuureen sijasta näkee varsinkin vanhemmassa kirjallisuudessa suureen GD^2 , jonka yksikkö on kpm^2 . Tätä suuretta kutsutaan **huimamomentiksi** ja sillä on seuraava numeerinen yhteys hitausmomentin kanssa. $GD^2 / \text{kpm}^2 = 4 \text{ J/kgm}^2 = 4 \text{ g J/Nms}^2 = 0,169 \text{ WR}^2/\text{lb ft}^2$ ($g=9,81\text{m/s}^2 = \text{normaalikiikhtyvyys}$). (Huimamomenttia voidaan käyttää numeroarvona, mutta käsitteellisesti se on virheellinen, sillä hitausmomentti J on riippuvainen vain kappaleen muodosta ja massasta).

Pyörivällä massalla, jonka pyörimisnopeus on n_1 [r/min] ja hitausmomentti J_1 [kg m^2] on liike-energia W_{kin} [J].

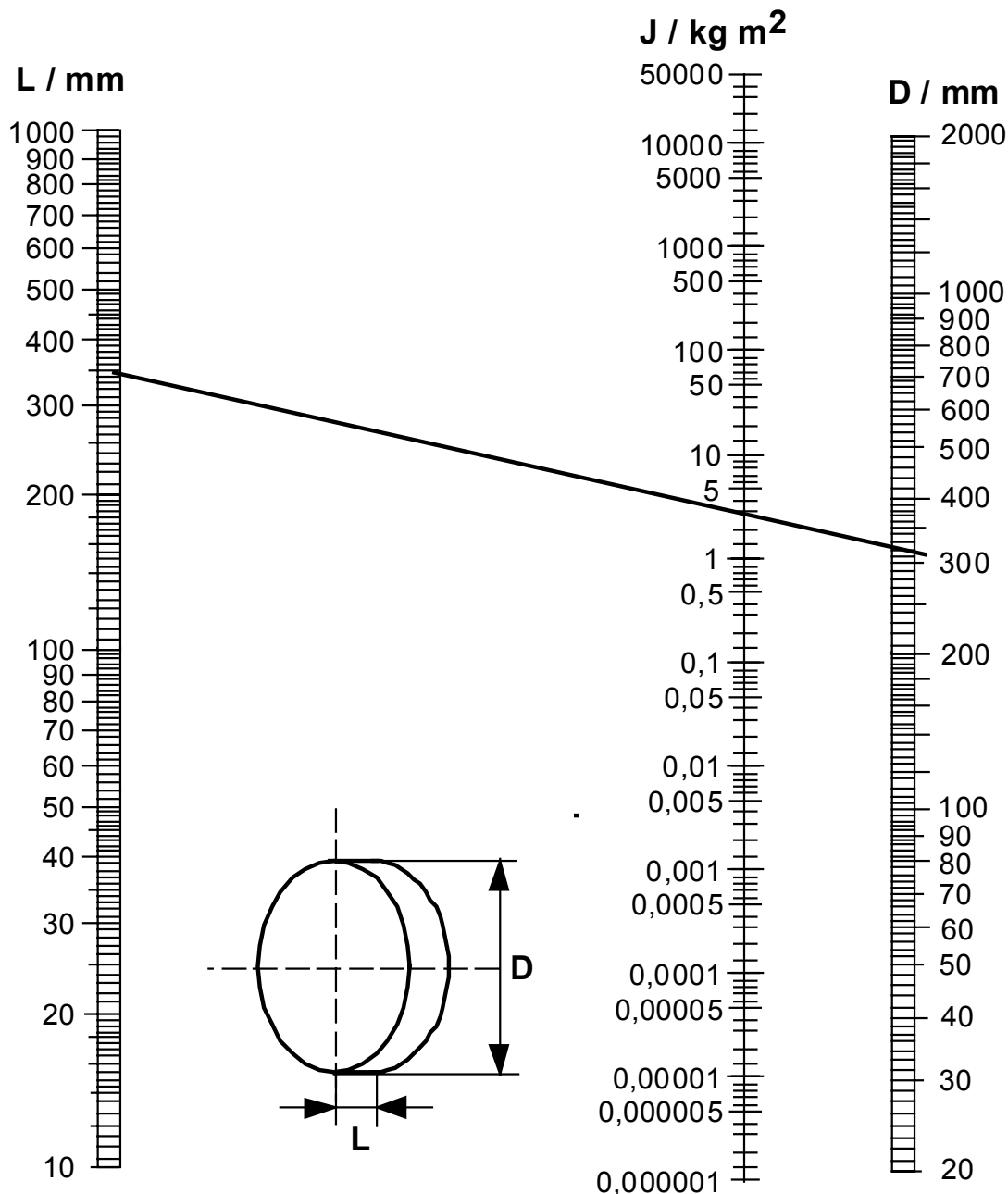
$$W_{kin} = \frac{J_1}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_1}{30} \right)^2$$

Hitausmomentti J_1 , redusoidaan vaihteiston toiselle puolelle kertomalla se välityssuhteen neliöllä.

$$J_2 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \cdot J_1$$

Yhtäläisesti massalla m [kg], joka liikkuu suoraviivaisesti nopeudella v [m/s], on sama energia kuin pyörivällä kappaleella, jonka pyörimisnopeus on n [r/min] ja hitausmomentti [kg m^2]

$$J = \left(\frac{30}{\pi} \right)^2 \cdot \left(\frac{v}{n} \right)^2 \cdot m = 91,2 \cdot \left(\frac{v}{n} \right)^2 \cdot m$$



KUVA 2.1c. Sylinterinmuotoisten kappaleiden hitausmomenteja (inertiamomenteja).

2.1.3. Hitausmomentti (neliömomentti) ja taivutusvastus

Tasapinnan hitausmomentilla (neliömomentti I , jäyhyysmomentti, apuväline lujuusopin laskeissa) tarkoitetaan samassa tasossa olevan painopisteakselin x suhteen pinta-alkioiden dA ja niiden x -akselista mitattujen kohtisuorien etäisyyksien r neliöiden tulojen summaa.

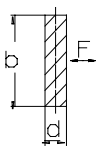
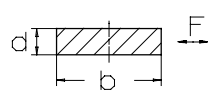
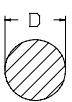
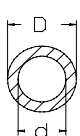
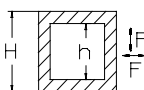
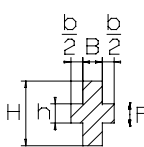
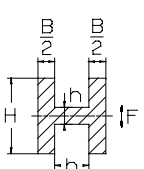
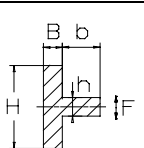
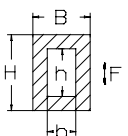
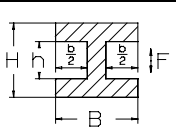
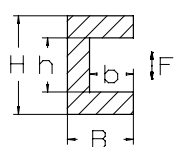
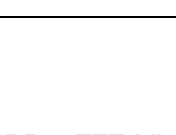
$$I_x = \int r^2 dA.$$

Neliömomentin dimensio on (pituusyksikkö)⁴. Kun neliömomentti tunnetaan, saadaan pinnan **taivutusvastukset** yhtälöistä

$$W_1 = \frac{I_x}{a_1} \quad \text{ja} \quad W_2 = \frac{I_x}{a_2},$$

joissa a_1 ja a_2 ovat pinnan äärimmäisten pisteiden etäisyydet akselista x . Taivutusvastuksen dimensio on (pituusyksikkö)³.

Taulukko 2.1a. Erilaisten poikkipintojen taivutusvastukset ja hitausmomentit (neliömomentit).


Poikkipinta	Taivutusvastus W	Hitausmomentti I
	$\frac{1}{6}bd^2$	$\frac{1}{12}bd^3$
	$\frac{1}{6}bd^2$	$\frac{1}{12}bd^3$
	$\frac{\pi}{32}D^3$	$\frac{\pi}{64}D^4$
	$\frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$
	$\frac{1}{6} \left(\frac{H^4 - h^4}{H} \right)$	$\frac{1}{12} (H^4 - h^4)$
	$\frac{1}{6} \left(\frac{BH^3 + bh^3}{H} \right)$	$\frac{1}{12} (BH^3 + bh^3)$
		
		
	$\frac{1}{6} \left(\frac{BH^3 - bh^3}{H} \right)$	$\frac{1}{12} (BH^3 - bh^3)$
		
		
		

Jos I_x , on neliömomentti painopisteen kautta kulkevan akselin suhteen, niin toisen akselin suhteen (akselin välinen etäisyys = a) neliömomentit ovat aina suurempia:

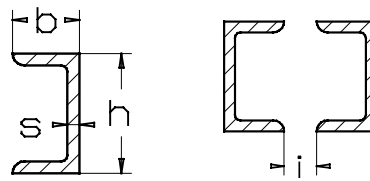
$$I_a = I_x + A \cdot a^2,$$

jossa A = pinnan ala.

Taulukko 2.1b. Virtakiskojen painot, taivutusvastukset ja hitausmomentit (neliömomentit).

Koko mm x mm	Paino		Yhden kiskon staattiset arvot			
	Cu kg/m	Al kg/m				
			W_x cm ³	I_x cm ⁴	W_y cm ³	I_y cm ⁴
12x2	0,209	0,0633	0,0480	0,0288	0,00800	0,00080
15x2	0,262	0,0795	0,0750	0,0563	0,0100	0,00100
15x3	0,396	0,120	0,113	0,0844	0,0225	0,00338
20x2	0,351	0,107	0,133	0,133	0,0133	0,00133
20x3	0,529	0,161	0,200	0,200	0,0300	0,00450
20x5	0,882	0,268	0,333	0,333	0,0833	0,0208
25x3	0,663	0,201	0,313	0,391	0,0375	0,00563
25x5	1,11	0,335	0,521	0,651	0,104	0,0260
30x3	0,796	0,242	0,450	0,675	0,0450	0,00675
30x5	1,33	0,403	0,750	1,13	0,125	0,0313
40x3	1,06	0,323	0,800	1,60	0,0600	0,00900
40x5	1,77	0,538	1,33	2,67	0,167	0,0417
40x10	3,55	1,08	2,67	5,33	0,667	0,333
50x5	2,22	0,673	2,08	5,21	0,208	0,0521
50x10	4,44	1,35	4,17	10,4	0,833	0,417
60x5	2,66	0,808	3,00	9,00	0,250	0,0625
60x10	5,33	1,62	6,00	18,0	1,00	0,500
80x5	3,55	1,08	5,33	21,3	0,333	0,0833
80x10	7,11	2,16	10,7	42,7	1,33	0,667
100x5	4,44	1,35	8,33	41,7	0,417	0,104
100x10	8,89	2,70	16,7	83,3	1,67	0,833
100x15	13,33	4,04	25,0	125,0	3,75	2,81
120x10	10,7	3,24	24,0	144	2,00	1,00
120x15	16,0	4,86	36,0	216	4,50	3,38
160x10	14,2	4,32	42,7	341	2,67	1,33
160x15	21,4	6,47	64,0	512	6,00	4,50
200x10	17,8	5,40	66,7	667	3,33	1,67
200x15	26,7	8,09	100	1000	7,50	5,63

Taulukko 2.1c. Kiskoprofiilien mitat, painot, taivutusvastukset ja hitausmomentit (neliömomentit).



[Mitta				Paino				Yhden kiskon staattiset arvot				
	h mm	b mm	s mm	i mm	Cu		Al						
					[kg/m	[kg/m	[kg/m	[kg/m	W_x cm ³	I_x cm ⁴	W_y cm ³	I_y cm ⁴	e mm
6	60	30	4	25	3,99	7,98	1,22	2,44	7,83	23,5	1,76	3,71	8,96
8	80	37,5	6	25	7,65	15,3	2,32	4,64	19,4	77,5	4,08	10,7	11,3
10	100	37,5	8	25	11,3	22,6	3,47	6,94	33,4	167	5,38	14,3	11,0
12	120	45	10	30	16,9	33,8	5,17	10,3	59,3	356	9,63	30,5	13,3
14	140	52,5	11	35	21,8	43,6	6,66	13,3	90,3	632	14,5	54,2	15,3
16	160	60	12	40	27,3	54,6	8,34	16,7	130	1040	20,9	89,2	17,3
18	180	67,5	13	45	33,5	67,0	10,2	20,4	180	1620	28,8	139	19,2
20	200	75	14	50	40,1	80,2	12,2	24,4	241	2410	38,4	207	21,2

2.2. Hihnakäyttö

Hihnakäytön mitoituksessa varmistaudutaan riittävästä tehonsiirtokyvystä sekä käytön osien kestävydestä. Tässä käsitellään hihnakäyttöä moottorin akselin ja laakerien kestävyden kannalta. Hihnakäytön yleiset mitoitus- ja asennusohjeet saadaan standardista SFS 3527 (1976), kun kapeat kiilahihnat ovat kyseessä, sekä hihnanvalmistajalta.

2.2.1. Kiilahihnapyörän valinta

Kiilahihnakäytössä tarvittava hihnojen ja pyörän välinen kitkavoima aikaansaadaan hihnoja kiristämällä. Riittämättömästi kiristetyt kiilahihnat luistavat ja jättämän noustessa yli 1 % kuluvat lyhyessä ajassa. Liiallinen kireys on vahingollista akseleille, laakereille ja hihnoille. Esim. 15...20 % ylikireys lyhentää laakerien ja hihnojen kestoian puoleen. Kiilahihnakäytön mitoituksen lähtökohtana oleva asennuskireys on :

$$F_j = 14,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{k_k \cdot P}{k_\beta \cdot n_1 \cdot d_p \cdot z} \quad (1)$$

jossa

- F_j = kiilahihnan kireys(jänteen jännitysvoima) [N],
- P = siirrettävä nimellisteho [kW],
- k_k = käyttökerroin (taulukko 2.2a),
- k_β = kosketuskulmakerroin (taulukko 2.2b),
- z = kiilahihnojen lukumäärä,
- n_1 = pienen pyörän pyörimisnopeus [r/min],
- d_p = pienen pyörän laskentahalkaisija [mm].

Käytössä, akseleita ja laakereita kuormittava hihnojen kiristysvoima on:

$$F_R \approx 2 \cdot F_j \cdot z, \quad (2)$$

jossa F_R = hinnan käytössä akselia ja laakereita kuormittava voima [N].

Jos pieni pyörä on käyttömoottorin akselilla, niin moottorille sallittu kiristysvoima F_R saadaan taulukosta 2.2c kuulalaakereille ja taulukosta 2.2d rullalaakereille.

Taulukko 2.2a. Käyttökerroin k_k .

Käytettävä kone	Käyttävä kone	
	Oikosulkumoottori, Y/D-käynnistys. Liukurengasmoottori, Nopea monisyinterinen polttomoottori	Oikosulkumoottori, suora käynnistys Hidas polttomoottori
Nesteen sekoittaja Puhallin ja imuri, kevyt Keskipakoispumppu Potkuripuhallin < 7 kW	1,0	1,1
Hihnakuuljetin Taikinakone Potkuripuhallin >7 kW Generaattori Pesukone Työstökoneet Puristimet Painokone Keskipakois-korkeapainepumppu Täryttävä tai pyörivä seula Valta-akseli	1,1	1,2
Tiilikone Kauhakuuljetin Mäntäkompressori Vasaramylly Hollanteri Mäntäpumppu Korkeapainepuhallin Puutyöstökoneet Tekstiilikoneet	1,2	1,4
Murskaimet Kuula- ja tankomylly Kehäsaha Raskas nosturi Kumi- ja muovikalanteri Valssit ja suulakepuristimet	1,3	1,5

Taulukko 2.2b. Kosketuskulmakerroin k_β .

Kosketuskulma	k_β
180 °	1,0
160 °	0,95
140 °	0,89
120 °	0,82
100 °	0,75

Taulukko 2.2c. Sallittu säteisvoima F_R kuulalaakerille.

Moottorin koko IEC	Napaluku	Akselitapin pituus E/mm	Kuulalaakeri 20.000 käyttötuntia	
			X_O/N	X_{max}/N
71	2	30	415	335
	4	30	415	335
	6	30	415	340
80 M_AT	2	40	670	545
	4	40	890	725
	6	40	970	830
80 M_BT	2	40	670	545
	4	40	890	725
	6	40	970	830
90 S	2	50	795	625
	4	50	995	780
	6	50	1135	880
90 L	2	50	780	635
	4	50	985	790
	6	50	1120	905
100	2	60	1090	875
	4	60	1360	1095
	6	60	1560	1250
112	2	60	1410	1120
	4	60	1735	1400
	6	60	2000	1620
132 S	2	80	1700	1330
	4	80	2130	1660
	6	80	2495	1935
132 M	2	80	1675	1345
	4	80	2130	1675
	6	80	2450	1960
160	2	110	2980	2310
	4	110	3760	2900
	6	110	4290	3300
	8	110	4730	3660
180	2	110	3540	2880
	4	110	4390	3560
	6	110	5060	4110
	8	110	5590	4540
200 ML_	2	110	4510	3700
	4	110	5660	4650
	6	110	6470	5310
	8	110	7160	5880
225 SM_	2	110	4750	4010
	4	140	6310	5040
	6	140	7200	5760
	8	140	7970	6375
250 SM_	2	140	6100	4910
	4	140	7650	6170
	6	140	8700	7010
	8	140	9630	7760

Kuulalaakeri 20.000 käyttötuntia				
Moottorin koko IEC	Napaluku	Akselitapin pituus E/mm	X_0/N	X_{max}/N
280 SM_	2	140	7300	6200
	4	140	9200	7800
	6	140	10600	8900
	8	140	11600	9800
315 SM_	2	140	7300	6000
	4	170	11300	9400
	6	170	13000	10600
	8	170	14300	10400
315 ML_	2	140	7300	6000
	4	170	11300	9400
	6	170	13000	10800
	8	170	14300	12000
355 S_	2	140	9000	7900
	4	210	15200	12500
	6	210	17300	14200
	8	210	19000	15600
355 SM_	2	140	9000	7900
	4	210	15200	12500
	6	210	17300	14300
	8	210	19000	15700
355 ML_	2	140	9100	7100
	4	210	15200	12800
	6	210	17300	14600
	8	210	19300	16200
400 M_	2	140	9100	7100
	4	210	15200	12800
	6	210	17300	14600
	8	210	19300	16200
400 LK_	2	140	8900	3000
	4	210	15000	13000
	6	210	17200	13700
	8	210	19200	15000

Taulukko 2.2d. Sallittu säteisvoima F_R rullalaakerille.

Rullalaakeri 40.000 käyttötuntia				
Moottorin koko IEC	Napaluku	Akselitapin pituus E/mm	X_0/N	X_{max}/N
160	2	110	4370	3360
	4	110	5520	4250
	6	110	6310	4860
	8	110	6960	5360
180	2	110	4940	4010
	4	110	6160	5000
	6	110	7100	5750
	8	110	7830	6350
200 ML_	2	110	6710	5510
	4	110	8440	6930
	6	110	9640	7920
	8	110	10650	8750
225 SM_	2	110	7650	6450
	4	140	10150	8120
	6	140	11600	9280
	8	140	12820	10250

Moottorin koko IEC	Napaluku	Akselitapin pituus E/mm	X_0/N	X_{max}/N
250 SM_	2	140	10710	38640
	4	140	13470	10870
	6	140	15360	12400
	8	140	16970	13690
280 SM_	2	140	16500	6600
	4	140	20300	12000
	6	140	23000	12000
	8	140	25000	12000
315 SM_	2	140	16500	6350
	4	170	26500	10700
	6	170	30000	10600
	8	170	32700	10400
315 ML_	2	140	16500	6000
	4	170	26500	18400
	6	170	30000	18400
	8	170	32700	18200
355 S_	2	140	21800	10100
	4	210	36700	22300
	6	210	41500	22300
	8	210	45200	22200
355 SM_	2	140	21800	8900
	4	210	36700	21300
	6	210	41500	21100
	8	210	45200	21700
355 ML_	2	140	21800	7100
	4	210	36700	19500
	6	210	41500	19000
	8	210	45200	19500
400 M_	2	140	21800	7100
	4	210	36700	19500
	6	210	41500	19000
	8	210	45200	19500
400 LK_	2	140	22000	3000
	4	210	37000	15000
	6	210	42000	13700
	8	210	46000	15000

Taulukon 2.2c ja 2.2d arvot perustuvat alla mainittuun arvioituun laakerin kestoikään 50 Hz:n käytössä:

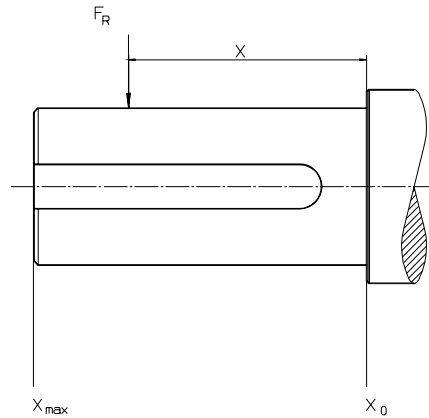
Moottorikoko	71 ... 132	20 000 h
	160 ... 400	40 000 h

60 Hz:n käytössä arvot ovat n. 10 % pienemmät.

Moottorien asennusasento on 1M B3 ja säteisvoiman suunta sivulle päin.

Kaksinopeusmoottoreilla pätevät korkeammalle kierrosluvulle annetut arvot.

Samanaikaisesti vaikuttavien aksiaali- ja säteisvoimien sallimat kuormitukset kysyttäessä moottorinvalmistajalta.



KUVA 2.2a. Moottorin akselin pää.

Sallitun säteisvoiman siirtymä $X_0 - X_{max}$ on lineaarinen.

$$F_R = F_{x0} - \frac{X}{E} (F_{x0} - F_{xmax}), \quad (3)$$

jossa E = standardiakselitapin pituus.

Alustavasti voidaan olettaa $X = 0,8$ x akselinpään pituus.

Arvioidaan k_k ja k_β ja lasketaan moottorin kiilahihnapyörän pienin sallittu halkaisija

$$d_p = 28,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{k_k \cdot P}{k_\beta \cdot n_1 \cdot F_R} \quad (4)$$

Jos yhtälön antama d_p on sopimaton suuren mittansa tai suuren kehänopeuden takia, niin tutkitaan:

- voidaanko suurentaa sallittua F_R :ää moottoria vahvistamalla tai vaihtamalla saman tehoi- seen, mutta hitaampaan tai
- voidaanko arvioitua k_k :ta pienentää.

Esimerkki:

Moottori M2BA 200ML 4 ($P = 30$ kW, $n_1 = 1470$ r/min) käyttää mäntäkompressoria. Las- ketaan, mikä on moottorin akseleille tulevan kiilahihnapyörän pienin sallittu halkaisija, kun pyritään laakerin kestoikään 40.000 h.

Arvioidaan alustavasti:

$$X = 0,8 \cdot 110 \text{ mm} = 88 \text{ mm}$$

$$k_k = 1,4 \text{ (taulukko 2.2a)}$$

$$k_\beta = 0,89 \text{ (taulukko 2.2b)}$$

Taulukosta 2.2d katsotaan, kuinka suurella voimalla F_R moottoria saa kuormittaa rullalaake- reilla

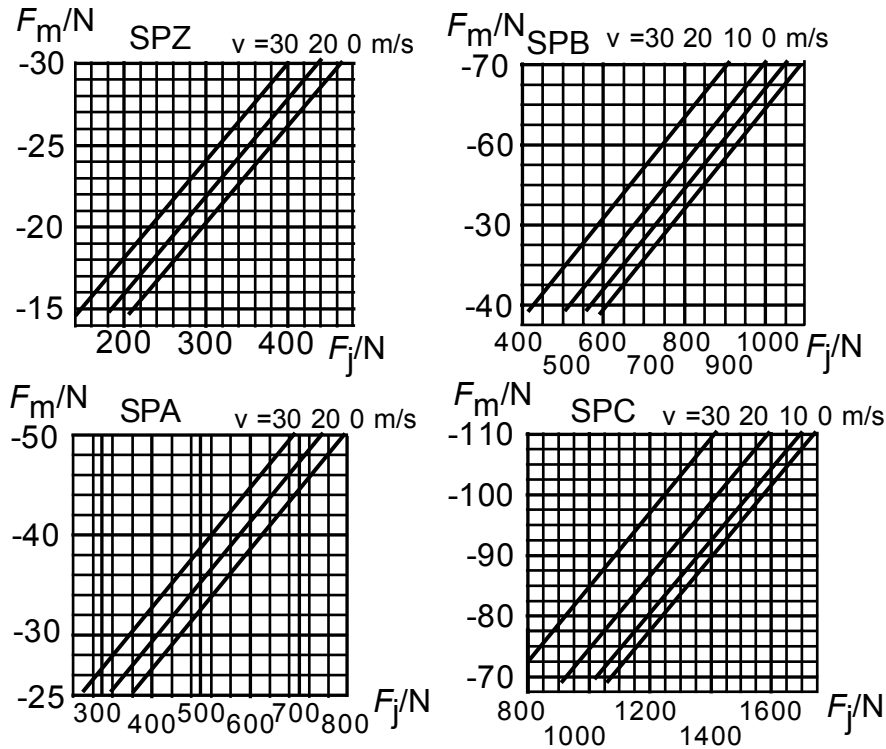
$$F_R = 8440 - 0,80 \cdot (8440 - 6930) = 7232 \text{ [N]}$$

$$d_p = 28,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,4 \cdot 30}{0,89 \cdot 1470 \cdot 7232} = 127 \text{ [mm]}$$

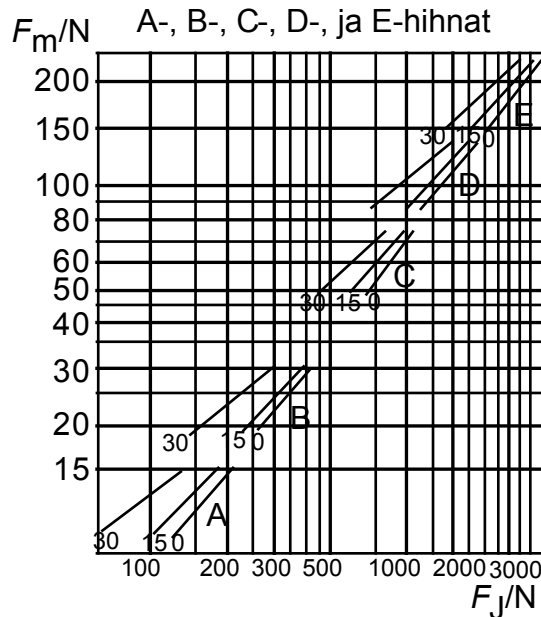
Lähin standardihalkaisija on $d_p = 132$ mm

2.2.2. Kiilahihnojen kiristäminen

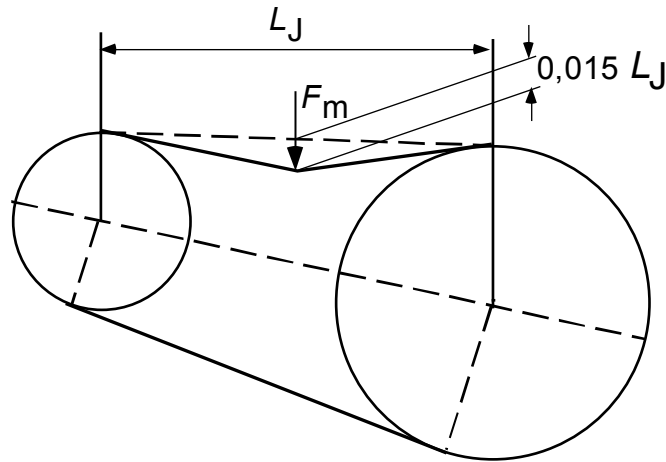
Hihnoja asennettaessa olisi pyrittävä yhtälön (1) mukaan laskettuun kireyteen F_j . Kiilahihnan kireys mitataan sen jännettä taivuttamalla matkan $0,015 \cdot L_j$, (ks. kuva 2.2d). Taivutusvoima F_m riippuu kiilahihnan kireydestä ja saadaan kuvasta 2.2b tai 2.2c eri hihnaprofiileille F_j :n ja v :n funktiona (v = hihnan nopeus laskentahalkaisijalla). Keskihakuisvoiman keventävä vaikutus on otettu huomioon.



KUVA 2.2b. Taivutusvoima eri hihnoille (SPA, SPB, SPC ja SPZ).



KUVA 2.2c. Taivutusvoima eri hihnoille (A; B, C, D ja E).



KUVA 2.2d. Kiilahihnan kireyden mittaus.

Saman käytön hihnoilla voi olla pituuseroista ja muistakin syistä johtuvaa epätasaisuutta kireydessä. Tästä syystä mitataan kukin hihna erikseen painamalla voimamittarilla hihnäjän-teen keskikohtaa matka $0,015 \cdot L_J$. Mittarilukemat $F_{m1} \dots F_{m2} \dots F_{mz}$ merkitään muistiin ja lasketaan niiden keskiarvo

$$\bar{F}_m = \frac{F_{m1} + F_{m2} + \dots + F_{mz}}{z} \quad (5)$$

Hihnoja kiristettäessä pyritään siihen, että

$$\bar{F}_m = (0,9 \dots 1,1) \cdot F_{mz}$$

Mitattujen taivutusvoimien hajontaan on kiinnitettävä huomiota. Jos esim. yhden hihnan F_m poikkeaa keskiarvosta + 20 %, niin se käy 20 % ylikuormituksella ja ikä lyhenee puoleen. Tällä on merkitystä koko kiilahihnaerän käyttöiälle.

F_m :n mittaukseen käytetään hihnakireysmittaria tai muuta tarkoitukseen sopivaa voimamittaria. Ennen mittausa varmistaudutaan, että kireys vetävällä ja ei-vetävällä puolella on sama. Yksihhnaisten käytön pyörät estetään kiertymästä mittausvoiman vaikutuksesta.

2.2.3. Tasohihnapyörän valinta

Käyttömootorin akselille tulevan tasohihnapyörän pienin sallittu halkaisija d [mm] voidaan laskea yhtälöstä

$$d = 19 \cdot 10^6 \cdot \frac{k_h \cdot k_k \cdot P}{k_\beta \cdot n_1 \cdot F_R} \quad (6)$$

Kerroin $k_h = 2,0 \dots 2,4$ (krominahkahihnat)

Kerroin $k_h = 2,6 \dots 3,2$ (kumihihnat)

Tässäkin edellytetään, että pieni pyörä on moottorin akselissa. k_k, k_β, P, n_1 ja F_R kuten edellä.

2.3. Hammasvaihteet

2.3.1. Käyttötehot ja käyttöväätömomentit

Hammasvaihteen valinnan lähtökohtana on käyttöteho, jolla tarkoitetaan työkoneen normaaliikäytössä ottamaa tehoa. Valittaessa vaihdetta tehotaulukon mukaan tämä on muutettava vastaavaksi ensiöakselin tehoksi P_{K1}

$$P_{K1} = \frac{P_{K2}}{\eta},$$

jossa P_{K1} = vastaava ensiöteho [kW] ja
 P_{K2} = käyttöteho [kW].

$$P_{K1} = \frac{M_{K2} \cdot n_2}{9550 \cdot \eta} \text{ [kW] },$$

jossa M_{K2} = käyttöväätömomentti [Nm],
 η = hyötysuhde (katso kohta 2.3.3. Nimellistehot ja väätömomentit),
 n_2 = toisiopyörimisnopeus [r/min].

2.3.2. Käyttökertoimet

Hammasvaihteet valitaan siten, että seuraava ehto on voimassa:

Nimellisteho \geq käyttökerroin x käyttöteho

Käyttökertoimella otetaan huomioon moottorin ja työkoneen aiheuttamat kuormitussysäykset sekä käyttöaika. Oikein valituilla käyttökertoimilla vaihde saavuttaa sen kestoian, joka on yleisesti katsottu riittävän ko. käyttöön. Käyttökerroinsuositus on taulukossa 2.3a.

Työkoneen aiheuttamat kuormitussysäykset ilmenevät taulukosta 2.3b, jossa on esitetty tavallisimpien kyseeseen tulevien koneiden kuormituksen laatu jaettuna kolmeen ryhmään:

- ryhmä 1: tasainen kuormitus
- ryhmä 2: epätasainen kuormitus
- ryhmä 3: iskumainen kuormitus

Taulukossa 2.3a esitetyt käyttökertoimien arvot ovat vain ohjearvoja, joita sovelletaan normaaleissa käyttöolosuhteissa. Mikäli käyttöön liittyy erittäin iskumainen kuormitus, suuri käynnistystaajuus ja käynnistys täydellä kuormalla sekä sellaiset kytkentätavat, jotka aiheuttavat akselinpäille ulkoisia kuormituksia, on varmintä neuvotella vaihteen valinnasta valmistajan kanssa.

2.3.3. Nimellistehot ja -väätömomentit

Vaihteiden teholutaulukossa esitetyt tehot ovat ensiöakselin nimellistehoja laskettuna käyttökertoimella $f = 1,0$. Tämä edellyttää, että työkoneita käyttää sähkömoottori, kuormitus on tasainen, akselipäiden ulkoisia kuormituksia ei esiinny ja käyttöaika on 10 tuntia vuorokaudessa.

Toisioakselin nimellisteho saadaan kertomalla ensiöakselin nimellisteho vaihteen hyötysuhteella:

$$P_{N2} = \eta \cdot P_{N1}.$$

Hyötysuhteen käytännöllisinä arvoina voidaan lieriö- ja kartio-lieriövaihteilla käyttää seuraavia arvoja:

1-portaiset:	0,985
2-portaiset:	0,970
3-portaiset:	0,955
4-portaiset:	0,940

Jos jostain syystä käytetään moottorin nimellistehoa vaihteen valinnan lähtöarvona on varmistauduttava siitä, että vaihteen kaksinkertainen nimellisvääntömomentti on suurempi tai yhtä suuri kuin moottorin käynnistysvääntömomentti. Suurin teho tai vääntömomentti, jolla vaihdetta voidaan hetkellisesti enintään 2 kertaa tunnissa noin 20 s ajan kuormittaa, on vaihteen kaksinkertainen nimellisteho tai -vääntömomentti.

2.3.4. Käynnistysmomentti ja käynnistystaajuus

Käyttökerrointaulukkoa voidaan yleensä soveltaa sellaisenaan, jos käynnistystaajuus on enintään 2 käynnistystä tunnissa. Tällöin 2 käynn./h edustaa käynnistystä vaihteen kaksinkertaisella nimellisvääntömomentilla. Mikäli halutaan suurempaa käynnistystaajuutta, on vaihteen valmistajaan otettava yhteys. Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että käynnistystaajuuden vaikutus on sitä suurempi mitä pienempi käyttökerroin muuten on, ts. tapauksissa missä kuormitus on tasainen ja käyttöikä lyhyt.

2.3.5. Terminen teho

Vaihteen terminen teho on teho, joka vaihteella todellisissa käyttöolosuhteissa voidaan siirtää öljyn lämpötilan nousematta sallittua suuremmaksi. Termisen tehon on siis oltava suurempi tai yhtä suuri kuin käyttöteho.

Jos terminen teho on pienempi kuin käyttöteho, vaihde on varustettava jäähdytyslaitteilla, joita ovat:

- 1 tai 2 tuuletinta asennettuna tavallisesti vaihteen ensiöakselille,
- jäähdytysvesikierukka asennettuna vaihteen öljytilaan tai
- painevoitelujärjestelmään liitetty vesi- tai ilmajäähdytteinen öljyjäähdytin.

Vaihteen esitteessä on ilmoitettu sen terminen nimellisteho. Tämä on teho, joka vaihteella ilman jäähdytyslaitteita voidaan siirtää jatkuvassa käytössä vähintään 3 tunnin ajan ympäröivän ilman lämpötilan ollessa +20°C öljyn lämpötilan nousematta sallittua suuremmaksi. Jos ympäröivän ilman lämpötila eroaa +20°C:sta, saadaan terminen teho luetteloarvoista seuraavilla kertoimilla

Ympäröivän ilman lämpötila	+10	+20	+30	+40	+50
Kerroin	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4

2.3.6. Akselinpäiden ulkoiset kuormitukset

Jos vaihteen toisioakselin ja käytettävän koneen akselinpäiden välille aiheutuu ulkoisia radiaali- tai aksiaalivoimia, on tarkistettava, että nämä voimat eivät ylitä sallittuja arvoja. Tämä voidaan tehdä vaihteen valmistajan ohjeiden mukaan.

On huomattava, että ohjeessa annetut radiaali- ja aksiaalivoimien arvot pätevät vain kummallekin voimalle yksinään. Jos samassa akselinpäässä esiintyy samanaikaisesti sekä radiaali- että aksiaalivoimia, asiasta on neuvoteltava vaihteen valmistajan kanssa.

Taulukko 2.3a. Käyttökerroin f .

Käyttävä kone	Työkoneen kuormituksen laatu	Käyttötunteja vuorokaudessa			
		alle 0,5	3	10	24
Sähkömoottori, höyryturpiini tai nestemoottori	ryhmä 1	0,5	0,8	1,0	1,25
	ryhmä 2	0,8	1,0	1,25	1,50
	ryhmä 3	1,25	1,5	1,75	2,0
Monisylinterinen mäntämoottori tai vesiturpiini	ryhmä 1	0,8	1,0	1,25	1,5
	ryhmä 2	1,0	1,25	1,50	1,75
	ryhmä 3	1,5	1,75	2,0	2,25
Yksisylinterinen mäntämoottori	ryhmä 1	1,0	1,25	1,5	1,75
	ryhmä 2	1,25	1,50	1,75	2,0
	ryhmä 3	1,75	2,0	2,25	2,5

Taulukko 2.3b. Työkoneen kuormituksen laatu.

Työkone	Ryhmä	Työkone	Ryhmä	Työkone	Ryhmä
Elevaattori - kauha-, tasainen kuormitus - kauha-, raskas kuormitus - liukuportaat - tavarahissit	1 2 1 2	Kuljettimet, epätasaisesti syötetyt, raskaasti kuormitetut - hihna-, kauha-, ketju- - kokoonpanohihna-, kola- - lamelli-, ruuvi- - tärykouru-, edestakaisin liikkuva-	2 2 2 3	Murskaimet, vauhtipyörällä varustetut - malmi-, kivi- - sokeri-	3 2
Elintarviketeollisuus - jauhimet, juurileikkurit - taikinan sekoittimet	2 2	Kumi ja muoviteollisuus - jauhimet, kumikalanterit - kumivalssit (2 linjassa) - kumivalssit (3 linjassa) - laboratoriolaitteet - levyvalssit - lämmitysvalssit - raffionoimisvalssit - rengaskoneet - siivilöimiskoneet	3 3 2 2 3 2 3 2 2	Myllyt ja rummut, pyörivä tyyppi - jauhatus-, jäähdytys-, kiillotus- - kölleri- - kuula- - puhdistus- - putki-, tanko-	2 3 2 3 2
Generaattorit	1	Lajittelukoneet	2	Nahkateollisuus - kalkki-, parkitseminen- ja rasvarummut	2
Jäteveden puhdistuslaitokset - hiekan ja lietteen kokoajat - kemikalioiden syöttäjät - kokoajat, seulat - kuohupeatteen rikkomislaitteet - potkuripumput, sakeuttamislaitteet - sekoittimet, suodattimet - vedenpoistoruuvit	2 1 1 2 2 2 2	Levynsyöttimet	2	Nosturit - ajo- ja kääntökoneisto - kiramot - nostokoneisto, kevyt käyttö - nostokoneisto, keskiraskas käyttö - nostokoneisto, raskas käyttö - puomikoneisto	2 2 1 2 3 1
Kompressorit - keskipako- - kotelo-, lamelli- ja nesterengas- - monisyl. mäntä- (vauhtipyörällä) - monisyl. mäntä- (ilman vauhtipyörää) - yksisylinterinen mäntä-	1 2 2 3 3	Maansiirto- ja ruoppauskoneet - kaivinpään käyttökoneisto - kuljettimet, köysirummut - pinoajat, pumput - seulat, täryttimet - vintturit	3 2 2 3 2	Puhaltimet ja tuulettimet - keskitekoisen veto - keskipako- ja potkuripuhaltimet - kotelo- - savuimuri - suuret, kaivos ja teollisuus - pienet koot	1 1 2 2 2 1

Työkone	Ryhmä	Työkone	Ryhmä	Työkone	Ryhmä
Koneelliset tulipesälaitteet	1	Metalliteollisuus - langan kelaus- ja vetokoneet - leikkaus- ja levyvalssit - levyn oikaisukoneet - pöytäkuljettimet yksisuuntaisesti - ryhmäkäyttö - yksittäiskäyttö - kuorintarummut - paine- ja imusuodattimet - pesurit - pick-up telat - puristimet: imu-, kuori-, liima-, tasoitus-, väli- - rullaajat - sekoittimet - kaksiakseli-, kyypin- - kemikalioiden - veden erottimet - viiran imu- ja vetotelat - yankee- sylinterit	3 3 3 2 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	Tiiliteollisuus - brikettikoneet - saven muokkauskoneet - saven sekoitusrumpu - tiilipuristimet	3 2 2 3
Kuljettimet, tasaisesti syötetyt ja kuormitetut - hihna-, kauha-, ketju- - kokoonpanohihna-, kola- - lamelli-, ruuvi-, uuni-	1 1 1	Sihdit - ilman pesu- - pyörivät hiekka- ja kivi- - liikkuvat vedenotto-	1 2 1	Työstökoneet - leikkurit - lävistyspuristimet - taivutuskoneen rullat - muut työstökoneet - pääkäyttö - apukäyttö	3 3 2 2 1
Pumput - hammaspyörä-, kotelo-, potkuri- - keskipako-, tasaussäiliöllä - keskipako-, ilman tasaussäiliötä - mäntä- - yksitoimiset sylinteriluku ≥ 3 - kaksitoimiset sylinteriluku ≥ 2 - vesirengas-	1 1 2 2 2 2	Sokeriteollisuus - murskaimet, myllyt ja ruokoleikkurit	2	Turbiinit - höyry-, kaasu- - vesi-	1 2

Työkone	Ryhmä	Työkone	Ryhmä	Työkone	Ryhmä
Sahateollisuus - höylän syöttökoneisto - katkaisusahat, kippilaitteet - ketjukuljettimet - rullakuljettimet - kuorimakoneet – karankäyttö - kuorimakoneet – pääkäyttö - lajittelupöytä - syöttö – kehäsahan - syöttö – särmäyssahan - tukkikuljetin – kourutyypin - tukin kääntölaitteet - tukkipöydät	2 2 2 3 2 3 2 3 2 3 3 3	Syöttölaitteet - edestakaisin liikkuvat - hihna-, lamelli-, ruuvi- - lautas-	3 2 1	Uunit - ketjuarina - malminkuivaus-, meesanpoltto- - rakeistusrummut - sementinpoltto	2 2 2 2
Sekoittimet - betoni- - nesteet, vakiosakeus - nesteet, muuttuva sakeus - selkeytyslaitteet	2 1 2 1	Tekstiiliteollisuus - kalanterit: - karstaus-, kehräys- ja kelauskoneet- - kuivaajat - kuivaussäilöt - kutoma-, kyllästys- ja nukkauskoneet - pesu- ja pingotuskoneet - puolaus- ja värjäyskoneet	2 2 2 2 2 2 2	Uuttolaitteet	1
Selluloosa- ja paperiteollisuus - hajottimet, hakkurit, hollanterit - huovankiristäjät - jordan- 1. Kartiomyllyt - kalanterit, kiillotuskalanterit - kuitujen talteenottosuodattimet - kuivaussylinterit	3 3 3 3 1 2			Valta-akselit - ryhmäkäyttö	2
				Öllyteollisuus - jäähdyttimet - parafiinin suodatuspur. - pyörivät uunit	2 2 2

2.4. Kytkimet

2.4.1. Laippakytkimet

Tavallisin kiinteä kytkin on laippakytkin. Laipat voivat olla akseliin kiinteästi liitettyjä tai irto-laippoja. Laipaksi taottua akselinpäättä käytetään yleisesti keskisuurissa ja suurissa polttomootoreissa ja niihin liitetyissä yksilaakerisissa generaattoreissa. Laippakytkin mitoitetaan joko liitospulttien leikkausjännityksen tai laippojen välisen kitkan perusteella.

2.4.2. Hammaskytkimet

Hammaskytkimessä on akselin päihin kiinnitettävät navat, joissa on ulkopuolinen hammas-tus. Napoja yhdistää holkki, jonka sisäpuolinen hammas-tus sopii napojen ulkopuoliseen hammas-tukseen. Rakenne sallii yhteen asennettavien akselinpäiden vähäiset säteis- ja kulmapoikkeamat ja antaa suurehkon akselinsuuntaisen liikkumavaran. Kuormitusvääntö-momentti voi kuitenkin "lukita" hammaskytkimen siten, ettei akselinsuuntainen liike ole kuormitusilanteessa mahdollinen. Tämä puolestaan voi aiheuttaa laakereihin suuria aksiaa-likuormia.

Hammaskytkimen koko määrätään käytettävän koneen vääntömomentin mukaan. Valinta-momentti saadaan kertomalla em. vääntömomentti kytkimen valmistajan suosittlemalla käyttökertoimella, joka on riippuvainen käytävästä koneesta, käytettävästä koneesta, kuor-mituslajista ja käyttäjästä. Lisäksi on tarkistettava, ettei annettuja maksimipyörimisnopeuk-sia ylitetä.

2.4.3. Joustavat kytkimet

Joustavista kytkimistä ehkä yleisin on tappikyt-kin. Se muistuttaa rakenteeltaan laippakytkin-tä, mutta kiinnitysruuvien päällä on kumiholkit, jotka siirtävät vääntömomentin kytkimen puo-liskosta toiseen. Joustava tappikytkimen päämitat ja valintaohjeet on esitetty standardissa SFS 3532. Tappikytkimistä poikkeavia joustavia kytkimiä eli kumiliitoskytkimiä on hyvin monenlaisia rakennemalleja. Niissä käytetään erilaisista joustavista aineista tehtyjä välirenkaita tai välipaloja.

Kytkimiä valittaessa tulee siirrettävän vääntömomentin lisäksi ottaa huomioon käynti-olosuhteista johtuvat kuormitustekijät, joiden vaikutus ilmaistaan käyttökertoimella. Käyttö-kerroin on riippuvainen mm. käytävästä koneesta, käytettävästä koneesta, kuormituslajista, käynnistysten lukumäärästä, käyntiajasta, laitteiden tärinästä ja asennuksen tarkkuudesta.

2.4.4. Kytkimien asennus

Joustavien tappikytkimien asennusohjeet on esitetty standardissa SFS 3534. Ohjeessa esi-tetään tappikytkimien asennuksessa huomioitavat seikat ja annetaan yhteen kytkettyjen ko-neiden akselinpäiden asennustarkkuudelle arvoja, jotka perustuvat käytännössä saatuihin kokemuksiin ja jotka ovat sopusoinnussa normaalin valmistustekniikan kanssa. Näitä ohjeita ja asennustarkkuuksia voidaan hyvin soveltaa myös muille joustaville kytkimille. Kytkimien valmistajat ilmoittavat luetteloissaan sallimansa asennusvirheet. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon, että ilmoitetut asennusvirheiden taulukkoarvot ovat usein teoreettisia maksimiar-voja. Ne pitävät paikkansa ainoastaan alhaisella pyörimisnopeudella, kun kytkimeltä edel-lytetään normaalia kestoikää. Vaativissa asennuksissa on syytä pyytää kytkimen valmista-jalta tapauskohtaisia sallittuja asennusvirhearvoja.

Normaalirakenteisilla liukulaakereilla varustettujen sähkökoneiden laakereihin ei saa koh-distaa akselin suuntaista voimaa.

- kytkimen akselin suuntainen liikkumavara on suurempi kuin ko. sähkökoneen vastaava vara,
- aksiaalilukitus tapahtuu käytettävän koneen puolella ja
- akselin lämpölaajeneminen voi vaaratta tapahtua.

2.4.5. Esimerkkejä kytkimien valintaperusteista

Oikosulkumoottoreiden käynnistyksen alussa esiintyy muutosilmiö, jonka aikana vaikuttaa ns. transienttimomentti. Sen suuruus on $\approx 2,5 \times T_{max}$ ja se vaikuttaa noin 0,2 s aikana 5...10 iskuna. Ensimmäiset iskut ovat vaihtelevia ja loput tykyttäviä. T_{max} on käynnistyksen aikana esiintyvä suurin momentti, mutta kytkimen tulee kestää myös mainitut momentti-iskut.

Akselireiän toleranssi on valittava tapauskohtaisesti. Yleisesti käytetty sovite H7/m6 soveltuu, kun käyttö on tasaista ja käytettävän koneen hitausmomentti ei ole huomattavasti suurempi kuin käyttävän koneen hitausmomentti. Jos käytettävän koneen puolella on suuri hitausmomentti, kuten esim. huimapyörämuuntajassa, on syytä käyttää ahdistussovitetta K7/m6. Vaihtelevalla kuormalla, kuten esim. polttomoottorikäytössä, on em. ahdistussovite myös sopiva, mutta jos kytkimen aine ei kestä sitä, käytetään sovitteena vähintään J7/m6.

Tahtigeneraattorin tai -moottorin vääntömomentin suurin hetkellisarvo äkillisessä oikosulussa on 10...13-kertainen nimellisarvoon nähden. Virhetahdistustapauksessa tilanne voi olla vieläkin pahempi. Suurin oikosulkumomentti syntyy ns. oppositiotahdistuksessa, jossa verkon ja koneen jännitteet ovat itseisarvoltaan yhtä suuret, mutta vastakkaissuuntaiset. Syntyvän momentin arvioidaan olevan noin kaksinkertaisen edellä mainittuun hetkellisarvoon nähden, siis 20...25-kertaa nimellisvääntömomentti. Tällaisissa tapauksissa on suositeltavaa käyttää murtokytkimiä, jotka toimivat mekaanisina sulakkeina ja ovat suhteellisen nopeasti korjattavissa toimintakuntoon. Sopivana murtokytkimen laukaisurajana voidaan pitää 7...10 kertaa nimellismomentti.