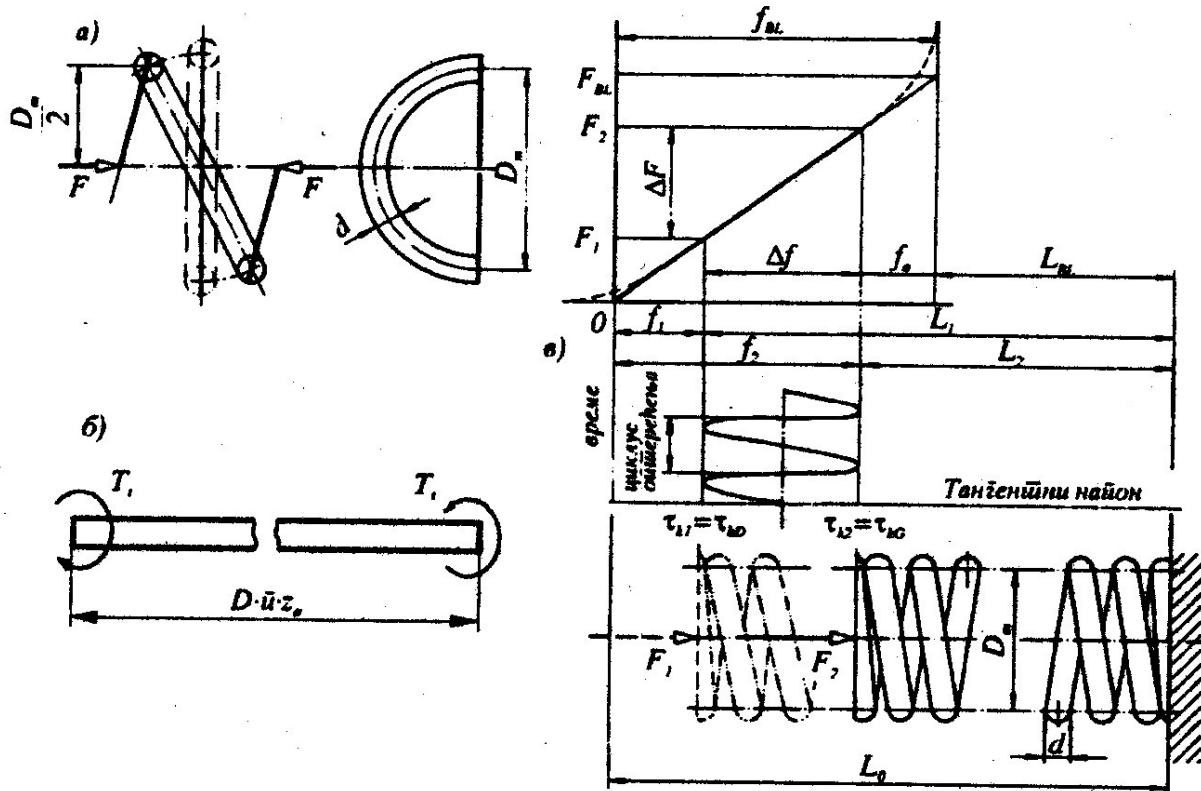


Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Deformacija opruge:
$$f = \frac{8FD_m^3 n}{Gd^4} = \frac{8Fwn}{Gd}$$

уеллрлмв њ неллсл.



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Broj zavojaka opruge

Kod pritisnih opruga sa velikim brojem promena opterećenja preporučuje se da se broj zavojaka završava na 0.5, npr. 3.5, 4.5, 5.5 ...

Ukupan broj zavojaka opruge iznosi:

- za hladno oblikovane pritisne opruge: $n_u = n+2$
- za toplo oblikovane pritisne opruge: $n_u = n+1.5$

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

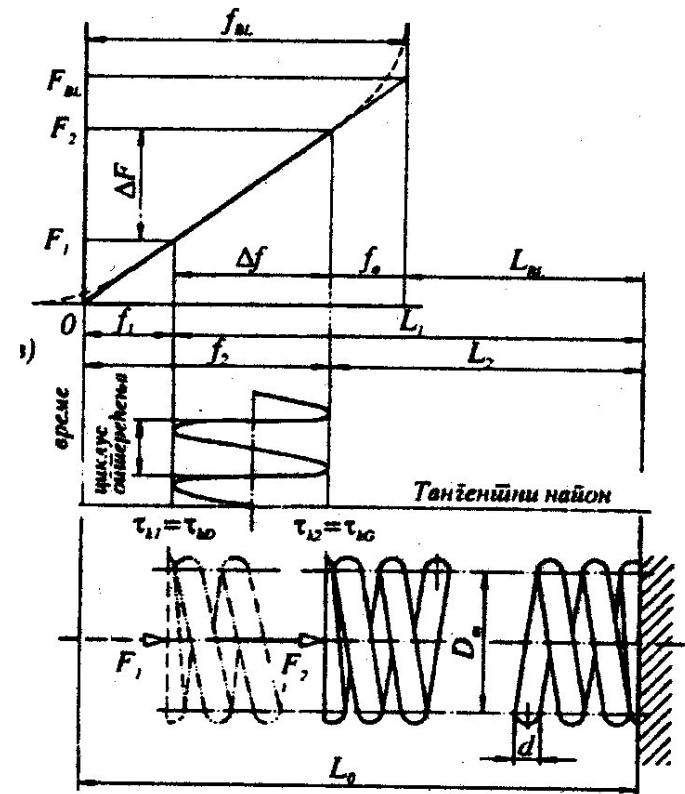
Dužina potpuno sabijene opruge:

- za hladno oblikovane pritisne opruge:

$$L_{BL} = n_u d$$

- za toplo oblikovane pritisne opruge:

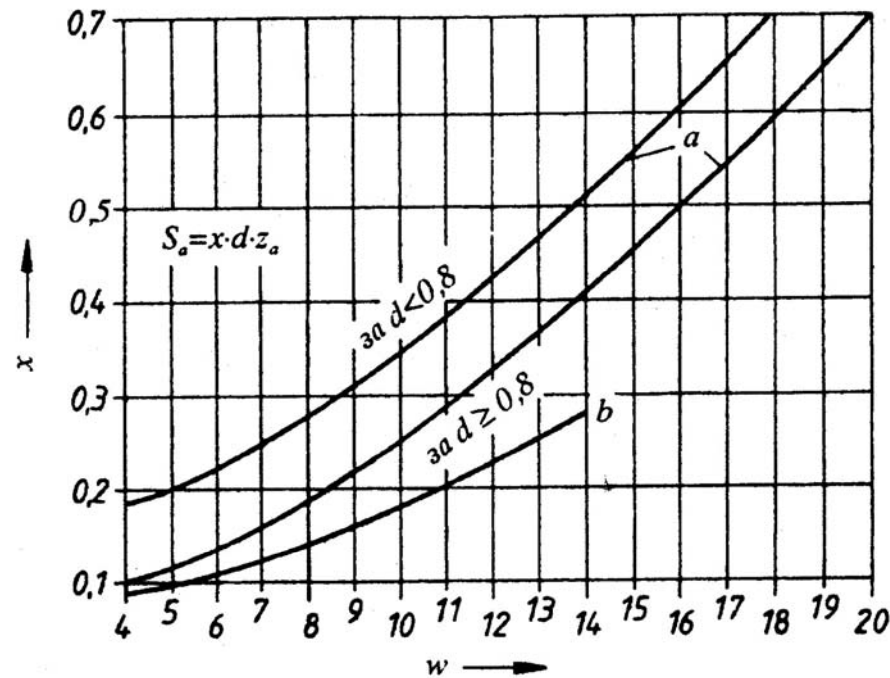
$$L_{BL} = (n_u - 3)d$$



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Zbir svih minimalnih zazora između zavojaka:

$$S_a = xdn$$



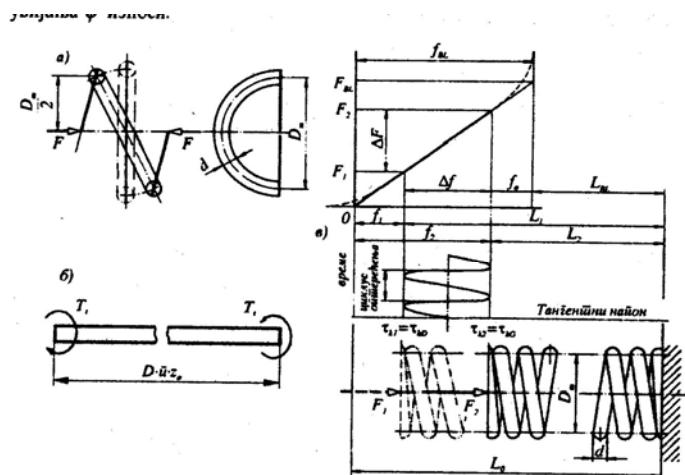
124-6 Дијаграм за одређивање фактора x код цилиндричних завојних притисних опруга (a - хладно обликоване; b - топло обликоване).

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Pri proračunu pritisnih opruga za statičke uslove, uvodi se pretpostavka da je opruga napregnuta samo na uvijanje, odnosno zanemaruje se povećanje napona na unutrašnjoj strani zavojaka zbog lučnog oblika žice.

Tangentni napon uvijanja iznosi:

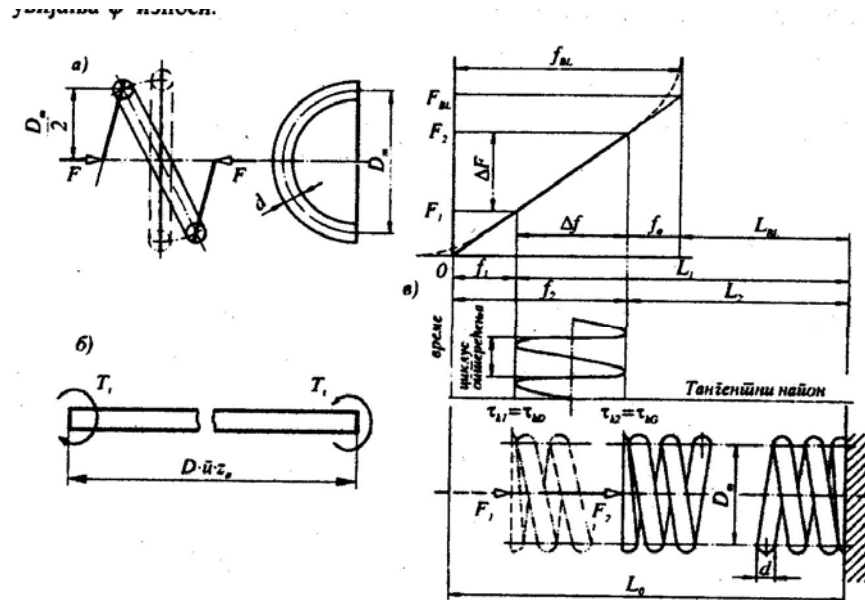
$$\tau_u = \frac{T}{W_p} = \frac{8FD_m}{\pi d^3} = \frac{G}{\pi} \frac{df}{nD_m^2} \leq \tau_{udoz}$$



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Kod dinamički opterećenih opruga povećanje napona zbog savijanja žice uzima se u obzir preko faktora napona k_w . U radnim uslovima sila se menja u granicama $\Delta F = F_2 - F_1$, što odgovara deformaciji opruge $\Delta f = f_2 - f_1$:

$$\tau_{kh} = k_w \frac{8\Delta F D_m}{\pi d^3} \leq \tau_{khdoz}$$



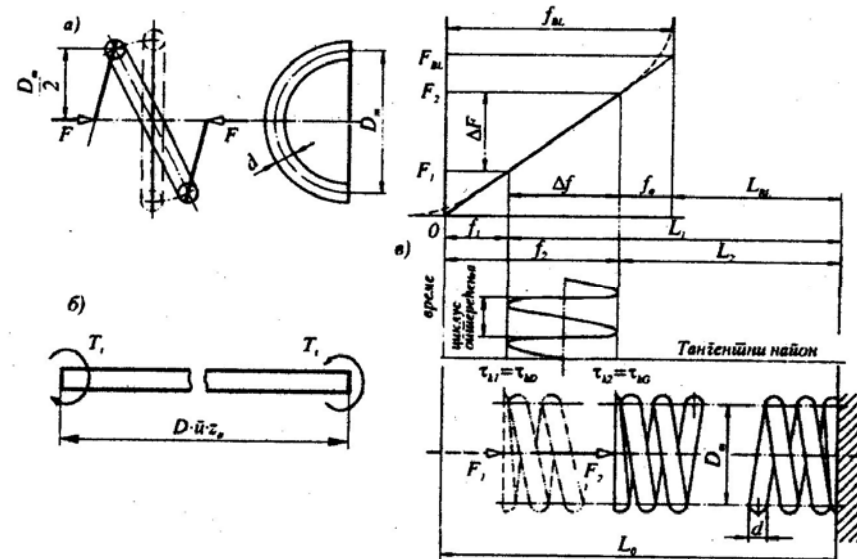
Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Provera dozvoljenog napona za slučaj potpunog sabijanja opruge:

$$f_{BL} = \frac{8F_{BL} D_m^3 n}{Gd^4} \Rightarrow F_{BL} = \frac{f_{BL} Gd^4}{8D_m^3 n}$$

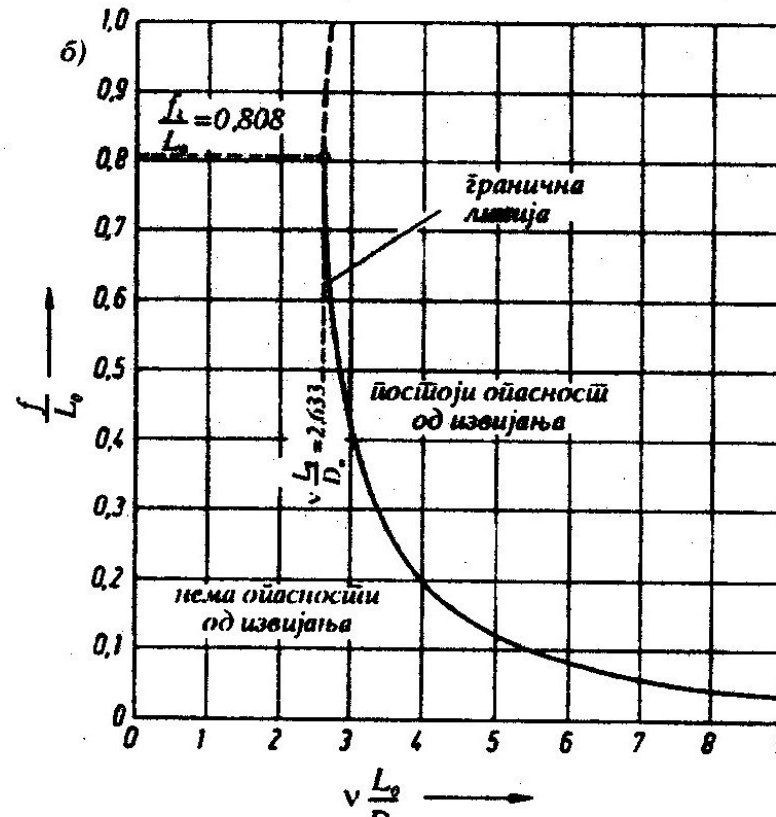
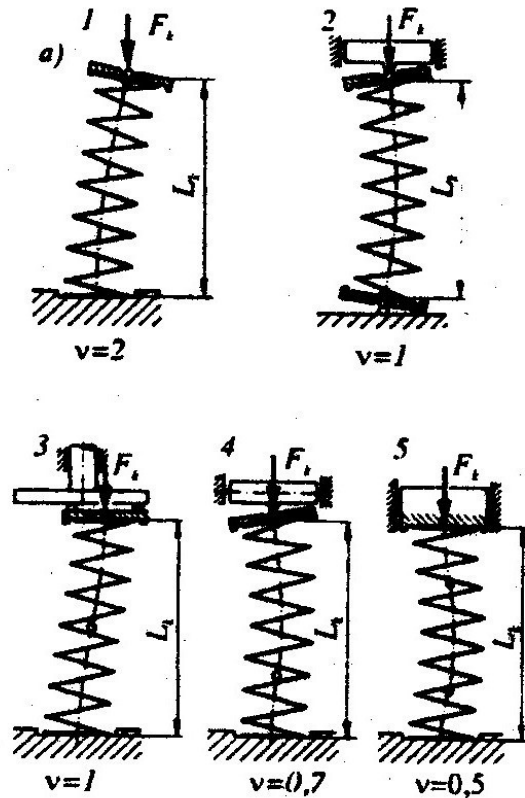
$$\tau_{BL} = \frac{8F_{BL} D_m}{\pi d^3} \leq \tau_{BLdoz}$$

Увјетима у попису.



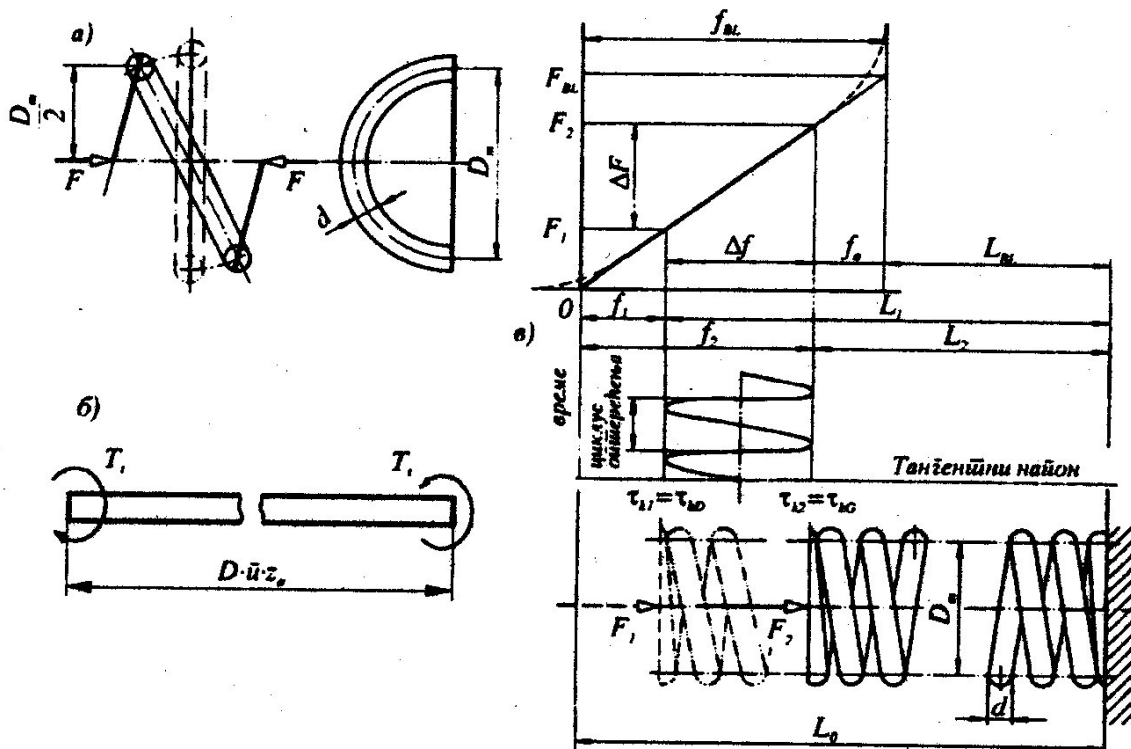
Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Provera opasnosti od izvijanja opruge:



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Primer: Dimenzionisati pritisnu cilindričnu zavojnu oprugu za ventil opterećenu silom $F_1 = 300\text{N}$ i $F_2 = 550\text{N}$ sa deformacijom $\Delta f = 10\text{mm}$ i srednjim prečnikom $D_m = 25\text{mm}$.



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Usvajamo žicu kvaliteta VD za rad u području trajne dinamičke izdržljivosti.

Таблица П24-3. Округла жица за опруге према DIN 17221

Материјал	Ознака	Пречник d mm	Оптерећење за притисне, затезне и флексионе опруге
Вучена жица за опруге од нелегираних челика	A	1...10	мало статичко, ретко динамичко
	B	0,3...20	средње статичко, мало динамичко
	C	2...20	високо статичко, мало динамичко
	D	0,07...20	високо статичко, високо динамичко
Побољшана жица за опруге	FD	1...14	опруге које раде у подручју временске издржљивости
Побољшана жица за опруге за вентиле	VD	1...7,5	за све опруге које раде у подручју трајне динамичке издржљивости

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

$$F_1 = 300\text{N}$$

$$F_2 = 550\text{N}$$

$$D_m = 25\text{mm}$$

$$\Rightarrow d = 3.2 \div 5[\text{mm}]$$

$$\Rightarrow \tau_{\text{udoz}} = 770 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Таблица П24-12. Уграђене мере хладно обликованих, цилиндричних, завojних, притисних опруга од округле жеце према DIN 2098

d	D _m	F _N	D ₂		D ₃		z ₂ =3,5		z ₂ =5,5		z ₂ =8,5		z ₂ =12,5		z ₂ =18,5	
			mm	mm	L ₀ mm	C N/mm	L ₀ mm	C N/mm	L ₀ mm	C N/mm	L ₀ mm	C N/mm	L ₀ mm	C N/mm		
0.5	6.3	6.57	5.3	7.5	13.5	0.728	20	0.46	30	0.3	44	0.206	65	0.137		
		8.04	4.0	6.2	9.4	1.46	14	0.53	20.5	0.61	30	0.412	44.5	0.273		
		9.32	3.1	5.0	7	2.84	10	1.31	15	1.17	21.5	0.795	31	0.54		
		10.00	2.4	4.1	5.5	5.57	7.9	3.53	11.5	2.29	16	1.56	23.5	1.05		
		10.40	1.7	3.4	4.4	11.58	6.1	7.43	8.7	4.8	12	3.27	17.5	2.21		
0.63	6.3	10.0	6.8	9.4	16	0.49	24.5	0.569	37	0.373	55	0.245	80.5	0.167		
		12.46	5.1	7.6	11.5	1.83	17	1.17	25.5	0.756	36.5	0.510	54	0.343		
		15.5	3.9	6.1	8.5	3.69	12.5	2.35	18.5	1.52	26	1.03	38.5	0.697		
		17.7	3.0	5.0	6.7	7.16	9.6	4.55	14	2.54	20	2.00	29	1.35		
		21.0	2.3	4.2	5.5	14.0	7.8	8.91	11	5.77	15.5	3.93	22.5	2.65		
0.8	6.3	15.4	8.6	11.6	20	1.20	30	0.755	45.5	0.429	66	0.334	96.5	0.226		
		19.5	6.6	9.6	14.5	2.32	21.5	1.48	32	0.961	47	0.647	68	0.441		
		24.0	5.0	7.7	10.5	4.77	15.5	3.03	23	1.96	33	1.334	48	0.903		
		26.0	3.8	6.3	8.3	9.54	12	6.07	17.5	3.92	24.5	2.5	34	1.9		
		31.9	2.8	5.3	6.9	18.5	9.7	11.2	14	7.67	19.5	5.22	28	3.52		
1	6.3	22.0	10.8	14.4	24	1.49	36.5	0.952	55.5	0.608	80.5	0.412	115	0.284		
		27.4	8.4	11.8	17.5	2.90	26	1.854	39	1.11	56	0.814	81.5	0.549		
		33.2	6.5	9.6	13	6.68	19	3.61	28.5	2.334	40.5	1.59	59	1.08		
		34.1	4.9	7.8	10.0	14.5	14.5	7.9	17.5	30.5	5.16	43.5	2.7			
		43.8	3.6	6.5	8.5	21.6	12	14.8	17	9.575	24	8.5	34.5	4.4		
1.25	6.3	54.25	14.1	18.2	40.5	1.73	62	1.1	94	0.716	140	0.481	205	0.324		
		69.1	10.6	14.6	27	3.83	41.5	2.31	62.5	1.49	90.5	1.02	130	0.687		
		85.4	8.2	11.9	20	7.09	29.5	4.51	44.5	2.92	64	1.99	93.5	1.344		
		103.0	6.1	9.9	15	14.3	22	9.93	32	5.84	47.5	3.96	69	2.69		
		133.4	4.7	8.1	12	29.0	17	18.0	32	11.8	35.5	8.06	51.5	8.4		
1.6	6.3	84.9	17.5	22.6	48	2.38	75.5	1.52	110	0.949	165	0.667	240	0.451		
		106.0	13.7	18.5	34	4.65	51.5	2.96	77.5	1.92	110	1.3	165	0.883		
		135.4	10.3	14.7	24	9.76	36	6.23	53.5	4.04	78	2.73	113	1.844		
		169.7	7.9	12.1	18.5	19.1	27	12.2	40.5	7.88	58.5	5.34	85	3.61		
		211.9	5.9	10.1	14.5	32.3	23.5	23.7	31.5	15.4	45	10.4	65.5	7.08		
2	6.3	177.5	22.0	28.0	58	3.98	88.5	1.9	135	1.23	195	0.834	290	0.569		
		198.2	17.1	22.9	41	5.83	62	3.71	94	2.394	135	1.63	200	1.059		
		254.1	13.4	18.6	30	11.4	45	7.24	68	4.69	98	3.19	145	2.16		
		324.1	9.9	15.1	22.5	23.9	33	15.2	49.5	9.81	71	6.69	105	4.52		
		417.8	7.4	12.5	18	46.6	26.4	29.7	38.5	19.25	55	13.05	105	8.41		
2.5	6.3	182.5	28.1	36.0	71.5	3.48	110	2.22	170	1.33	245	0.971	360	0.637		
		233.5	21.6	28.4	52	7.29	74.5	3.75	115	1.65	165	1.24	240	0.833		
		292.3	16.8	23.2	36	14.2	54	9.05	81.5	5.86	120	3.98	175	2.69		
		364.9	12.9	19.1	27.5	27.8	41	17.7	61	11.5	88	7.78	130	5.25		
		467.9	9.4	15.6	22	58.4	32	37.2	47.5	24	67.5	16.3	98	11.0		
3.2	6.3	288.4	35.6	46.6	82	4.76	125	2.81	190	1.96	275	1.334	405	0.903		
		361.0	27.6	36.5	58.5	9.31	88.5	5.93	135	3.83	190	2.61	280	1.756		
		461.1	21.1	28.9	42.1	19.4	63.5	12.4	94.5	8.02	135	5.454	200	3.68		
		576.8	16.1	23.9	33.5	38.2	49.5	24.2	74	15.7	105	10.7	155	7.21		
		721.0	12.2	19.8	27.5	74.4	40	47.4	59	30.7	83.5	20.8	120	14.1		
4	6.3	426.7	44.0	56.0	99	5.985	150	3.79	230	2.45	335	1.67	490	1.13		
		532.7	34.8	45.2	71	11.7	105	7.41	160	4.79	235	3.26	340	2.2		
		666.1	27.0	37.5	53.5	22.76	79.4	14.4	120	9.35	170	6.36	250	4.3		
		852.5	20.3	29.7	41	47.7	60.5	30.3	89.5	19.6	130	13.4	185	9.03		
		1069	15.3	24.7	33.5	94.1	49	59.25	72	38.4	105	26.3	150	17.56		
5	6.3	623	56.0	70.0	120	7.27	180	4.63	275	2.99	395	2.03	585	1.37		
		785	43.0	57.0	85	14.5	130	9.25	195	5.98	280	4.07	410	2.75		
		982	34.0	46.0	64	28.35	95.5	18.05	140	11.7	205	7.95	300	5.37		
		1226	26.0	38.0	51	55.4	75	35.3	110	22.86	160	16.5	230	10.5		
		1570	19.3	30.7	41	116.7	60	75.1	87.5	47.9	125	32.6	180	21.97		
6.3	6.3	932	71.0	89.0	145	8.96	220	5.7	335	3.69	490	2.51	720	1.7		
		1177	55.0	71.5	105	18.34	155	11.7	235	7.55	340	5.15	500	3.47		
		1481	42.0	58.0	80	36.7	115	23.3	175	14	250	10.3	365	6.95		
		1854	32.5	47.5	60	71.7	90	45.6	135	29.53	185	20.1	280	13.54		
		2315	24.6	39.5	50	140.3	75	89.2	110	57.2	155	39.24	225	26.5		
8	6.3	1413	89.0	111.0	170	11.9	260	7.58	390	4.9	570	3.335	835	2.26		
		1766	69.0	91.0	125	23.25	180	14.8	285	9.584	410	6.51	600	4.4		
		2217	53.0	73.0	95	47.7	140	30.3	205	19.6	300	13.34	435	9.03		
		2825	40.5	60.0	75	95.39	110	60.8	160	39.24	230	26.7	335	18		
		3532	31.2	49.0	65	185.4	90	118.7	135	61.2	160	62.2	275	35.2		
10	6.3	2080	111.0	140.0	205	14.9	315	9.49	475	6.13	680	4.1	1015	2.83		
		2600	87.0	114.0	150	29.0	230	18.54	345	12	500	8.11	730	5.5		
		3247	67.5	93.0	115	56.8	175	36.2	255	25.45	370	15.9	540	10.8		
		4120	51.0	75.0	96	115.8	135	74	200	47.9	285	32.6	410	22		
		5201	38.0	62.0	75	232.5	110	148.1	165	95.75	230	65.1	335	43.4		

Напомена: Уграђене мере: D₂ - пречник осовине (уобичајно); D₃ - пречник цилиндра (уобичајно).

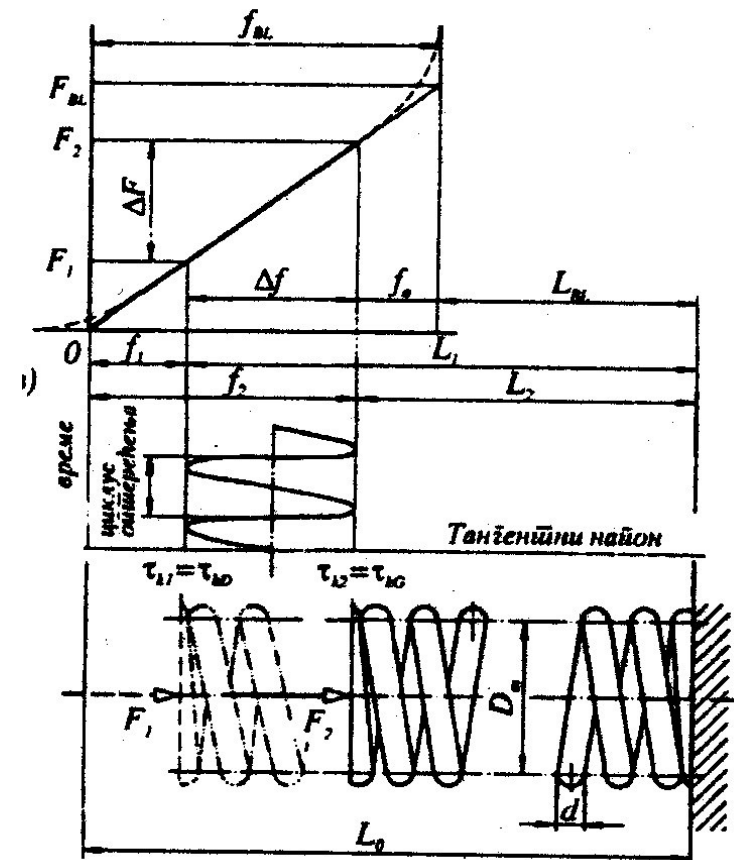
Ознака опруге са d = 2,5mm, D_m = 20mm и L₀ = 81,5mm: Притисна опруга DIN 2098-2.5x20x81,5

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

$$\tau_u = \frac{T}{W_p} = \frac{8FD_m}{\pi d^3} = \frac{G}{\pi n D_m^2} \frac{df}{L} \leq \tau_{udoz}$$

$$\Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{8F_2 D_m}{\pi \tau_{udoz}}} = 3.57 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{usv. } d = 4 \text{ mm}$$



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

$$\Delta F = F_2 - F_1 = 250 \text{ N}$$

$$G = 83000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\Delta f = \frac{8\Delta F D_m^3 n}{G d^4}$$

$$\Rightarrow n = \frac{G d^4 \Delta f}{8\Delta F D_m^3} = 6.8$$

$$\Rightarrow \text{usv. } n = 7.5$$

$$\Rightarrow n_u = n + 2 = 9.5$$

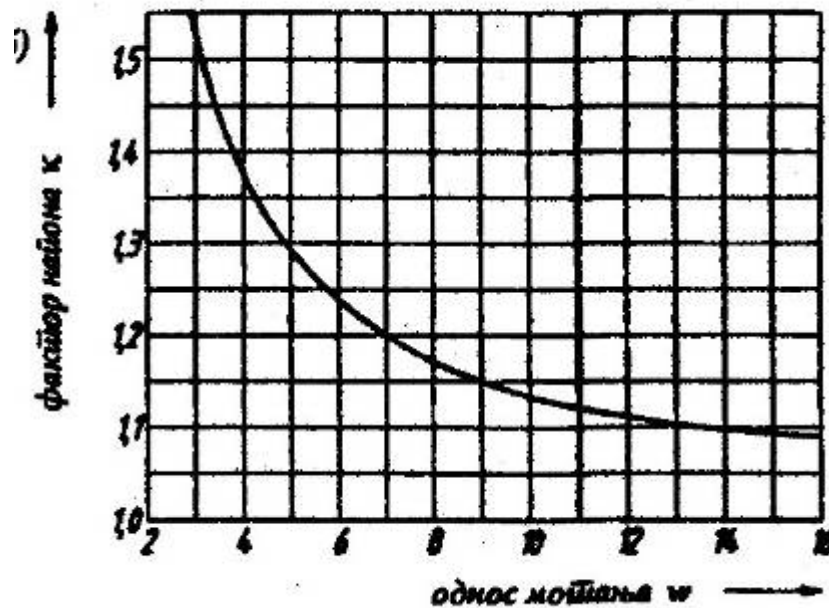
Таблица П24-1 Издржљивост материјала за опруге у N/mm^2

Врста опруге	Материјал	Модули E, G N/mm^2	Статичка чврстоћа (дозвол. напон) N/mm^2	Динамичка издрж. N/mm^2
Листаге опруге	Челик за опруге DIN 17221 побољшани Č 2132 (51Si7) Č 2330 (60CrSi7) Č 4830 (50CrV4)	E=206000	$R_{p0.2}$ R_{m2} 1320-1570 1130 1320-1570 1130 1370-1670 1180	$\sigma_a \pm \sigma_b$
	Челичне траке DIN 17222 хладно валане Н+А (71Si7) Č 4830 (50CrV4)	E=206000	1900-2400 1800 1700-2300 1600	$\sigma_a = 500 \pm 120 \dots 300$
	ваљане			$\sigma_a = 500 \pm 300$
	ваљане и побољшане			$\sigma_a = 500 \pm 400$
	брушене			$\sigma_{br} = \sigma_a \pm 0,75 \sigma_a$
Завојне опруге	Челична жица за опруге DIN 17223 Врста жице А, В, С, D DIN 17224 истрајања Č 4571 (X12CrNi177) K+A	E=206000 E=194000	$\sigma_{br} - \text{П24-2a}$	$\sigma_{br} - \text{П24-2b}$
Спиралне опруге	Челичне траке DIN 17222 С 67, Сk 67, 67 SiCr 4 50 CrV4 (Č 4830)	E=206000	Дебљина σ_{br} $h \leq 1 \text{ mm}$ 1100 $1 \dots 3 \text{ mm}$ 950 $> 3 \text{ mm}$ 800	Према подацима произвођача
Просте торзионе опруге	Топло ваљани челик DIN 17221 - побољшани 55 Cr 3, 50 CrV 4 51 CrMoV 4 површински брушена и сачмарена	G=78500	Округли штап без преднарезања $\tau_{br} = 700$ преднарезањима $\tau_{br} = 1020$ за $1600 < R_m < 1800$	$\tau_a \pm \tau_b$ $\tau_a = 600$
Завојне торзионе притисне опруге	округла жица за опруге DIN 2076 округла челична жица за опруге DIN 17223	G=83000	$\tau_{br} - \text{П24-9}$	$\tau_a - \text{П24-10}$
затезне опруге	DIN 17221 DIN 17224 хладно ваљани	G=80000 G=73000 E=180000	$\tau_{br} - \text{П24-13}$	$\tau_{br} - \text{П24-13}$
Тампирне опруге	DIN 17221; 17222 50 CrV 4 (Č 4830), Сk 67	E=206000	за $f = 0,75 h$ $\sigma_{br} = 1400-1600$	П24-17
Опруге од неонга	CuZn 37 DIN 17670	E=110000	$R_m = 300 \dots 600$ $\sigma_{br} = 250$ $\tau_{br} = 150$	једн. пром. $\sigma_{br} = 150$ $\sigma_{br} = 80$
Опруге од бронзе	CuSn 6 Zn	G=40000		$\tau_{br} = 80$ $\tau_{br} = 40$
Опруге отпорне на корозију	CuNiZn 20 DIN 17682 (овоно сребро)	E=135000 G=45000	$R_m = 620$ $\sigma_{br} = 350$ $\tau_{br} = 250$	једн. пром. $\sigma_{br} = 250$ $\sigma_{br} = 100$ $\tau_{br} = 150$ $\tau_{br} = 80$
Опруге од гуме	Мека гума Shore - тврдоћа 40...70	E=2...8 G=0,4...1,4	$\sigma_{br} = 620$ $\sigma_{br} = 350$ $\tau_{br} = 250$	$\sigma_{br} = 620$ $\sigma_{br} = 350$ $\tau_{br} = 250$

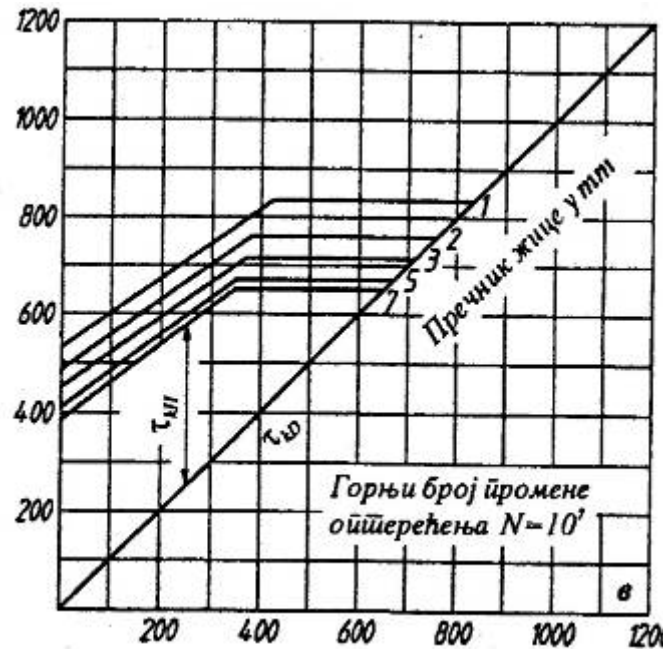
Ознака: Н+А - кален и отпуштен

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

$$w = \frac{D_m}{d} = 6.25 \Rightarrow k_w = 1.25$$



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga



$$\tau_{u \min} = k_w \frac{8F_1 D_m}{\pi d^3} = 373 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow \tau_{kH} = \tau_{khdoz} = 330 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{kh} = k_w \frac{8\Delta F D_m}{\pi d^3} = 311 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 330 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \tau_{khdoz}$$

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Maksimalna deformacija opruge:

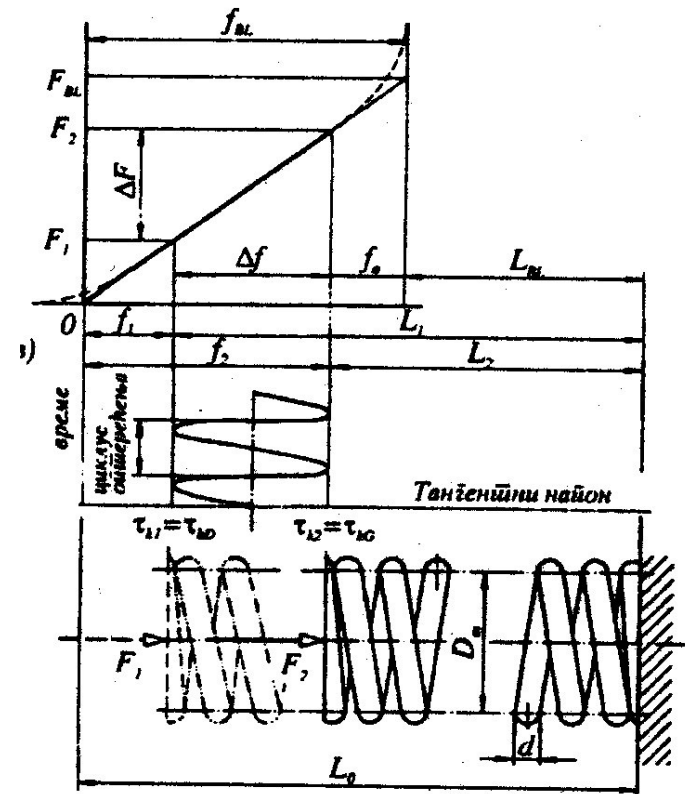
$$f_{\max} = f_2 = \frac{8F_2 D_m^3 n}{Gd^4} = 24.3\text{mm}$$

Krutost opruge:

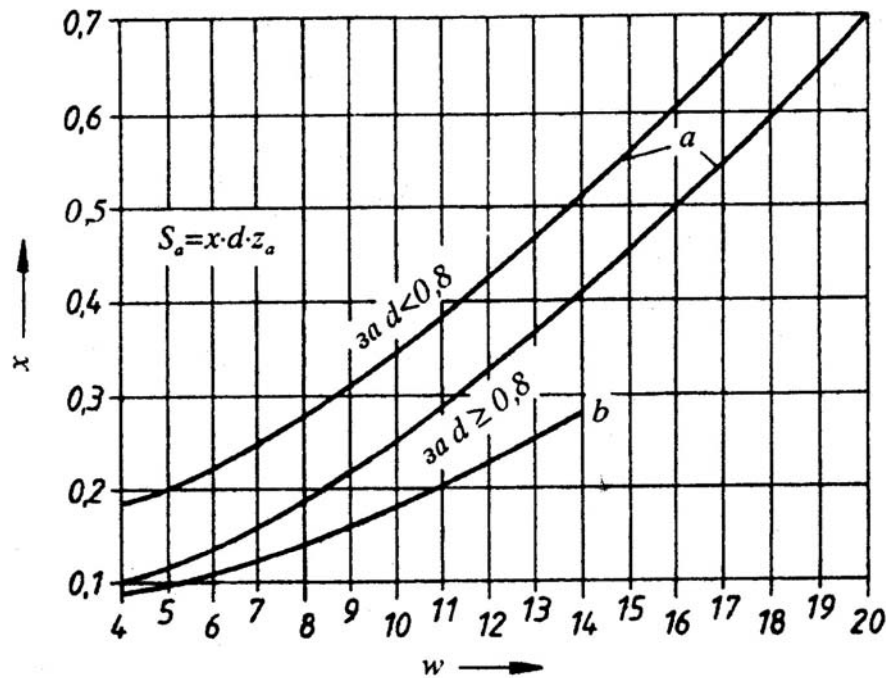
$$c = \frac{F_2}{f_2} = 22.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Dužina potpuno sabijene opruge:

$$L_{BL} = n_u d = 38\text{mm}$$



Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga



$$w = 6.25 \Rightarrow x = 0.14$$

124-6 Дијаграм за одређивање фактора x код цилиндричних завојних притисних опруга (a - хладно обликоване; b - топло обликоване).

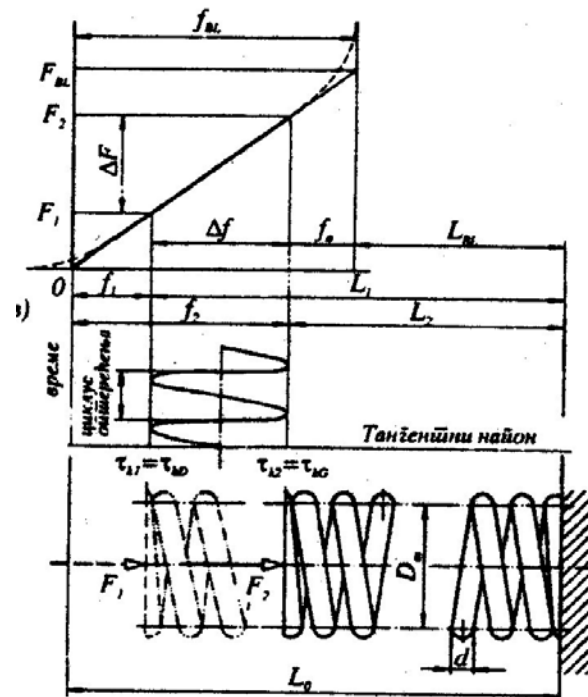
Zbir svih minimalnih zazora između zavojaka: $S_a = x d n = 4.2 \text{ mm}$

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Deformacija potpuno sabijene opruge: $f_{BL} = f_2 + S_a = 28.5\text{mm}$

Dužina opruge u neopterećenom stanju:

$$L_0 = L_{BL} + f_2 + S_a = 66.5\text{mm}$$

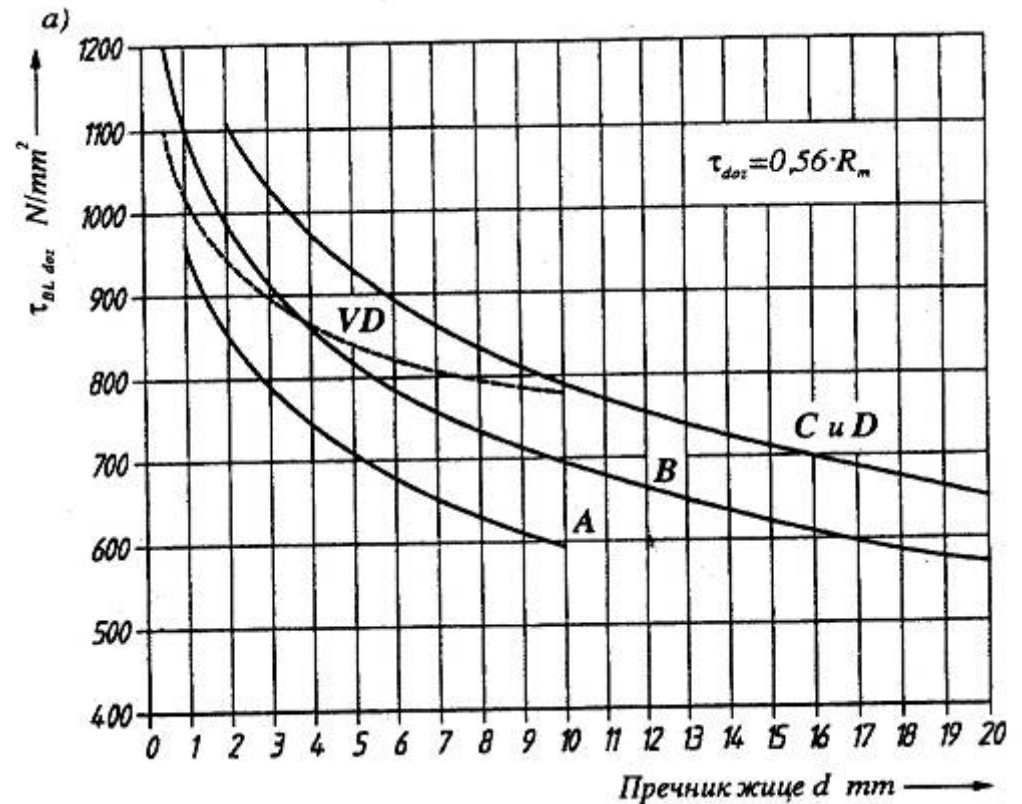


Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

Provera dozvoljenog napona za slučaj potpunog sabijanja opruge:

$$F_{BL} = \frac{f_{BL} G d^4}{8 D_m^3 n} = 645 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{BL} = \frac{8 F_{BL} D_m}{\pi d^3} = 641 \frac{N}{mm^2}$$



$$d = 4mm \Rightarrow \tau_{BL, doz} = 860 \frac{N}{mm^2} > \tau_{BL}$$

Proračun pritisnih cilindričnih zavojnih opruga

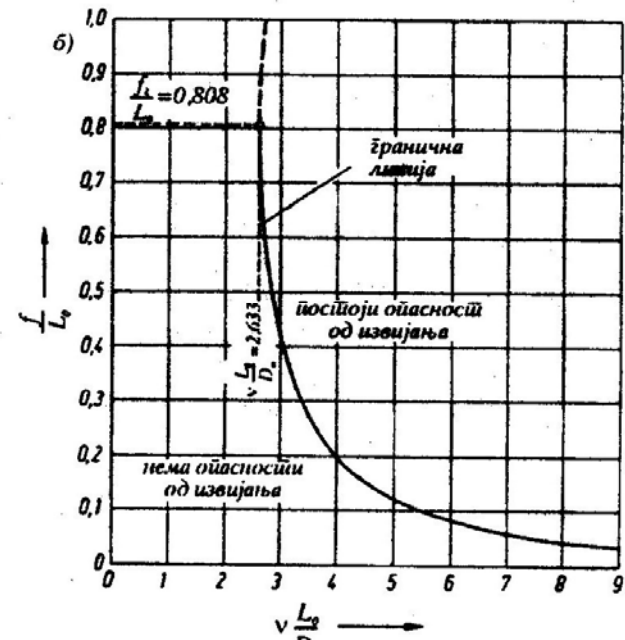
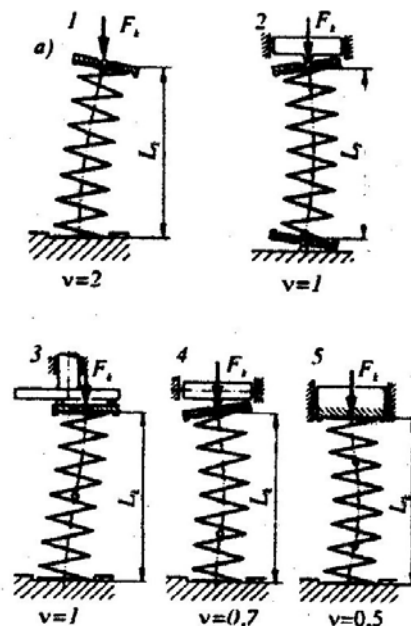
Provera opasnosti od izvijanja opruge

Faktor uležištenja: usv. $\nu = 1$

$$\nu \frac{L_0}{D_m} = 2.66$$

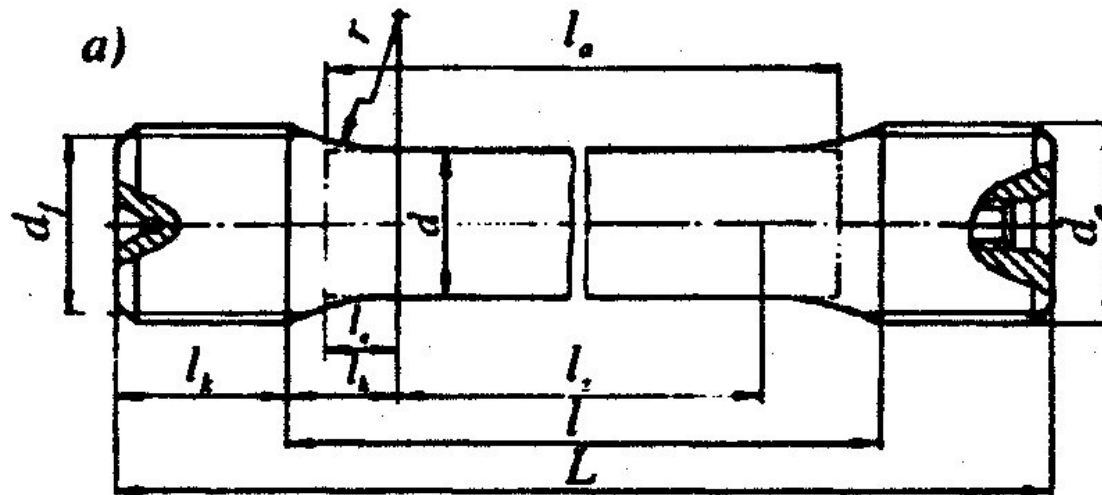
$$\frac{f_2}{L_0} = 0.36$$

⇒ nema opasnosti od izvijanja



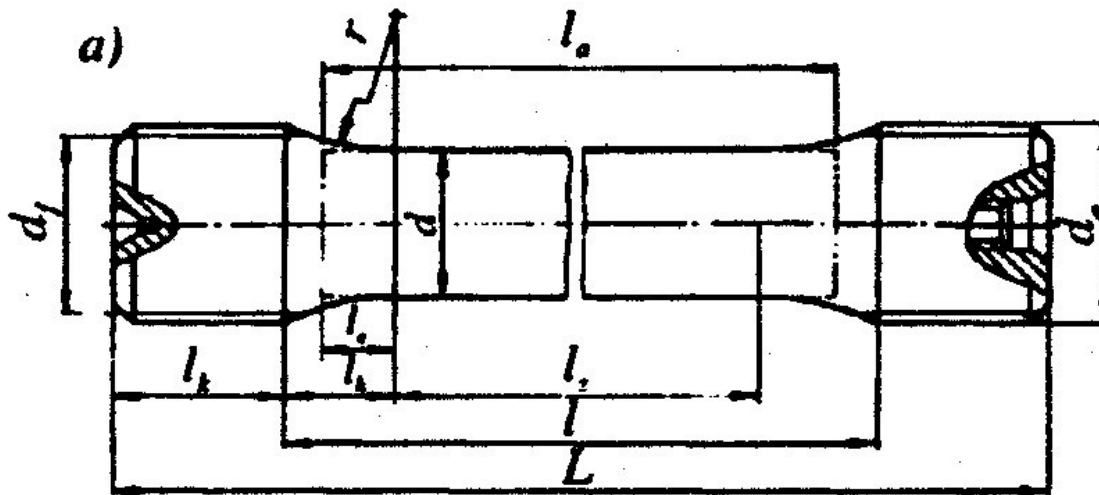
Proračun prostih torzionih opruga

Proste torzione opruge su najčešće okrugli štapovi sa kvalitetnom površinskom obradom, izrađeni od toplo valjanog čelika za poboljšanje predviđenog za torziona naprezanja (Č4830, 50CrV4). Jedan kraj ovakvog štapa je fiksiran, dok je drugi tako uležišten da može da se okreće oko svoje ose.



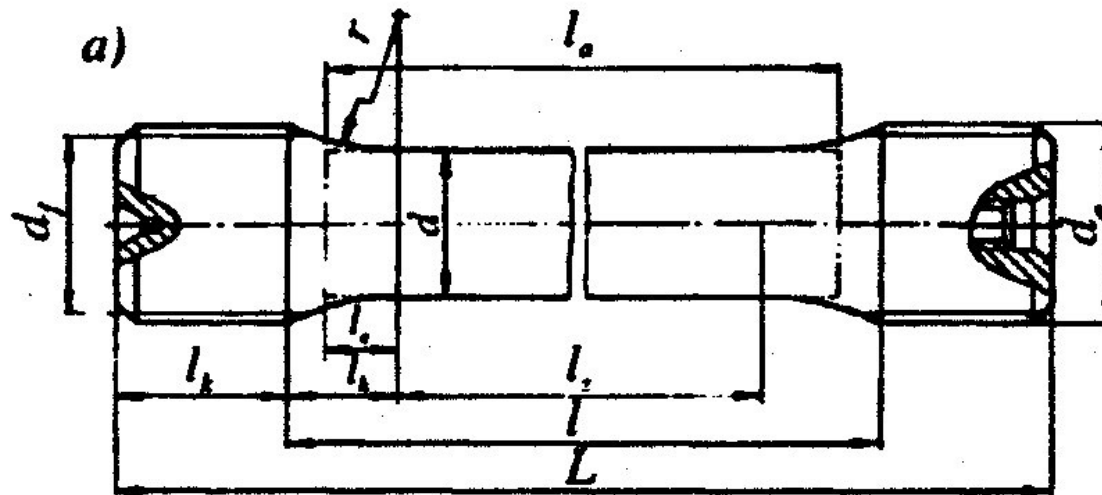
Proračun prostih torzionih opruga

Ako na slobodni kraj štapa deluje moment uvijanja T , onda dolazi do njegovog elastičnog uvijanja na aktivnoj dužini l_a prečnika d . Radi smanjenja koncentracije napona i iskorišćenja materijala prelaz između krajeva i aktivnog radnog dela štapa se izvodi preko odgovarajućih prelaznih zaobljenja.



Proračun prostih torzionih opruga

Proste torzione opruge primenjuju se kod elastičnih spojnica, kao noseće opruge kod teretnih vozila, kao i za merenje obrtnog momenta kod dinamometarskih ključeva. Nedostatak ovih opruga je što zbog svoje dužine zahtevaju prostor za ugradnju.



Proračun prostih torzionih opruga

Proračun statički opterećenih prostih torzionih opruga sastoji se u proveru tangentskih napona uvijanja:

$$\tau_u = \frac{T}{W_p} = \frac{16T}{\pi d^3} \leq \tau_{udoz}$$

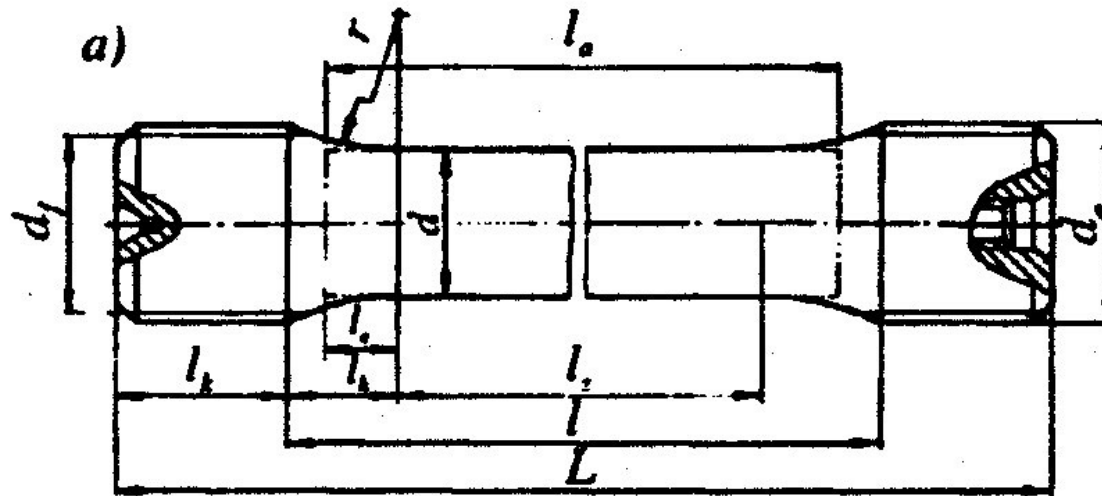
Za materijale čija je zatezna čvrstoća: $1600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < R_m < 1800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
dozvoljeni statički napon uvijanja:

- za opruge bez prednaprezanja: $\tau_{udoz} = 700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- za opruge sa prednaprezanjem: $\tau_{udoz} = 1020 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Proračun prostih torzionih opruga

Kod dinamički opterećenih prostih torzionih opruga torzioni moment menja se u granicama $\Delta T = T_2 - T_1$, pa je za proračun merodavan napon τ_h koji treba da bude manji od dinamičke izdržljivosti τ_H :

$$\tau_h = \frac{16\Delta T}{\pi d^3} \leq \tau_H$$

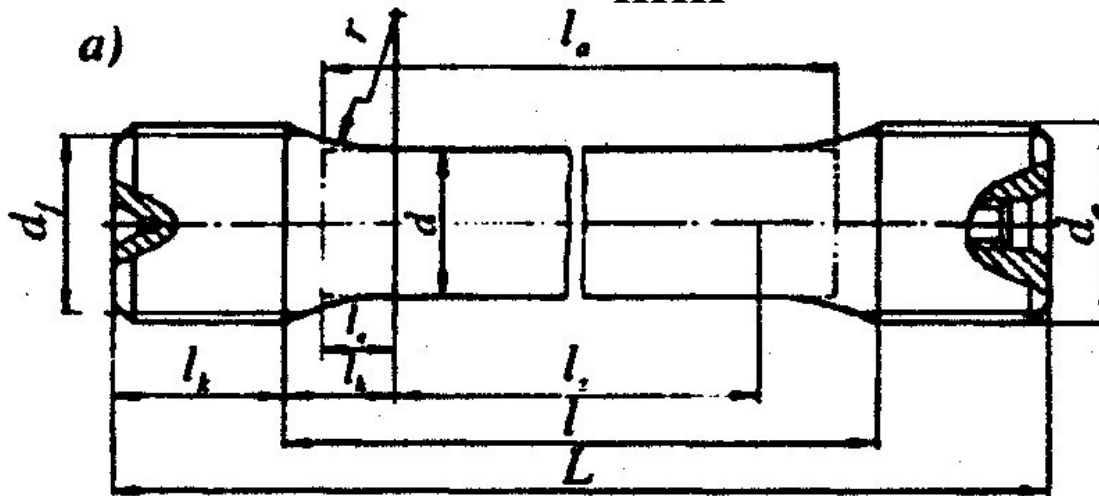


Proračun prostih torzionih opruga

Ugao deformacije: $\psi = \frac{Tl_a}{I_p G}$

$$I_p = \frac{d^4 \pi}{32}$$

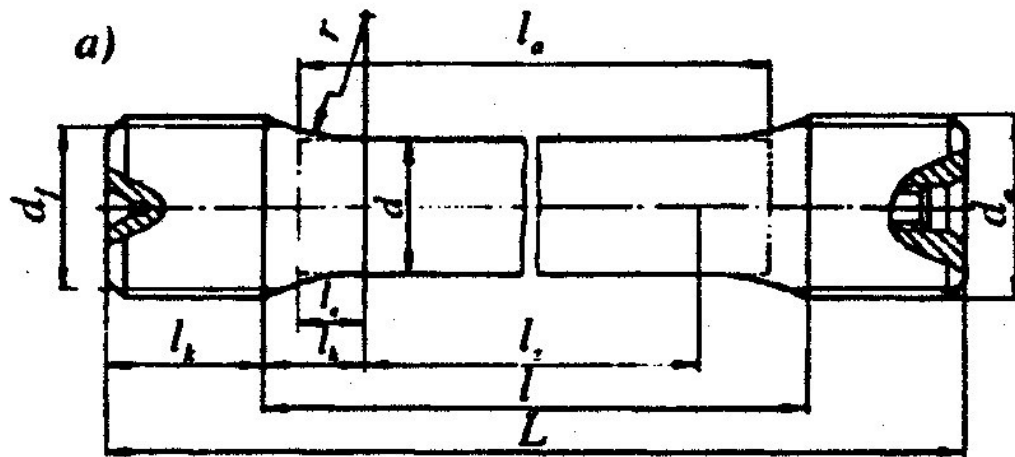
$$G = 78500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Proračun prostih torzionih opruga

Primer: Prednapregnuti torzioni štap izložen je momentu uvijanja koji se kreće u granicama $T_1 = 1200\text{Nm}$ do $T_2 = 4000\text{Nm}$. Štap je izrađen od toplo valjanog čelika Č4830 (50CrV4) prema DIN 17221 sa brušenim i sačmarenim površinama.

Proveriti nosivost torzionog štapa ako je on prečnika $d = 30\text{mm}$ i aktivne dužine $l_a = 600\text{mm}$.



Proračun prostih torzionih opruga

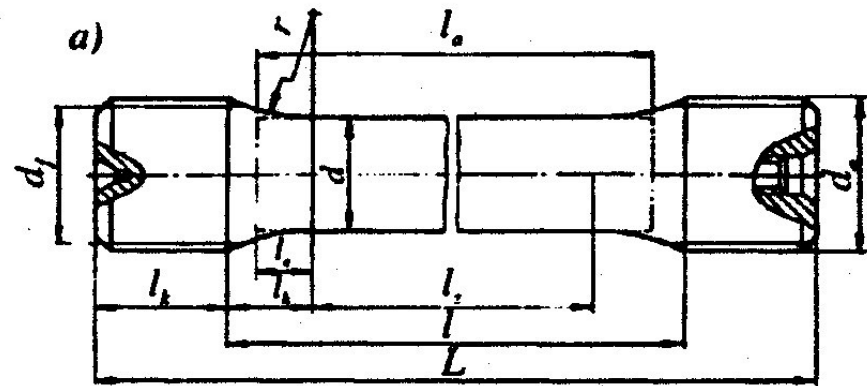
$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2800 \text{ N}$$

$$\tau_h = \frac{16\Delta T}{\pi d^3} = 528 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

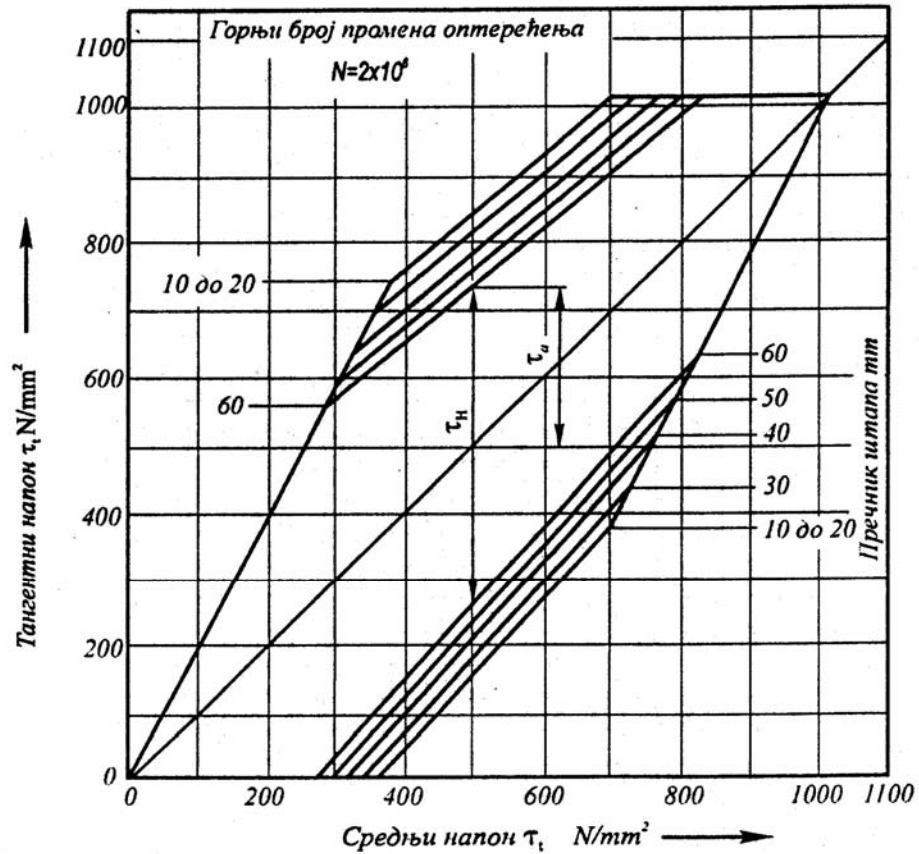
$$\tau_{u1} = \frac{16T_1}{\pi d^3} = 226 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{u2} = \frac{16T_2}{\pi d^3} = 754 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{u1} + \tau_{u2}}{2} = 490 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Proračun prostih torzionih opruga



$$\tau_m = 490 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$d = 30\text{mm}$$

$$\Rightarrow \tau_H = 630 \frac{N}{\text{mm}^2} > 528 \frac{N}{\text{mm}^2} = \tau_h$$

Proračun prostih torzionih opruga

Statička provera maksimalnog napona:

$$\tau_{\max} = \tau_{u2} = 754 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1020 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \tau_{\text{udoz}}$$

$$I_p = \frac{d^4 \pi}{32} = 79522 \text{mm}^4$$

$$G = 78500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maksimalni ugao deformacije:

$$\Psi_{\max} = \frac{T_2 l_a}{I_p G} = 0.384 \text{rad} = 22^\circ$$