

ZJEDNODUŠENÝ NÁVRH PŘEDEPJTÉHO ŠROUBOVÉHO SPOJE – METODIKA

Použitá literatura:

- [1] KŘÍŽ, R. aj. *Stavba a provoz strojů I – Části strojů*. Praha : SNTL, 1977.
 [2] KŘÍŽ, R. aj. *Strojírenská konstrukce I*. Praha : SNTL, 1986.
 [3] KŘÍŽ, R. aj. *Strojírenská konstrukce II*. Praha : SNTL, 1987.
 [4] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, CH. R., BUDYNAS, R. G. *Konstruování strojních součástí*. 1. čes. vyd. Brno : VUTIUM, 2010.

Předpokládané znalosti:

Šroubové spoje, podstata předepjatého spoje, diagram šroubového spoje s předpětím, silový poměr. Základní povědomí o redukovaném napětí a kmitavém zatížení.

Ve zjednodušeném výpočtu není uvažován mj. pokles předpětí vlivem sednutí, rovněž je redukován dynamický výpočet.

Spoje zatížené staticky

A. Síla působí v ose.

První doplňková číslice za ČSN	0			1	2	3		5	4	7	6	9
Pevnostní třída šroubu podle ČSN (dříve)	4A	4D	4S	5D	5S	6S	6G	8G	8E	10K	10G	12K
Pevnostní třída podle ISO	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	6.9	8.8	–	10.9	–	12.9
Mez pevnosti v tahu R_m (MPa)	300	400	420	500	520	600	600	800	800	1040	1020	1220
Dolní mez kluzu R_e (MPa)	190	240	340	300	420	480	–	–	–	–	–	–
Jmenovitá mez kluzu $R_{p0,2}$	–	–	–	–	–	–	540	640	650	900	900	1080
Třída pevnosti matice podle ČSN (dříve)	4A	4D	4S	5D	5S	6S	6G	8G	8E	10K	10G	12K
Třída pevnosti podle ISO	4			5		6		8		10		12
Zkušební napětí S_p (MPa)	480			225		310	280	380	440	580	600	830

Tabulka 1

- Volba materiálu šroubu (tabulka 1).
- Předběžná volba průměru šroubu d a předpětí F_0 :
 - podle provozní síly F na 1 šroub (tabulka 2),
 - pro ocelové konstrukce orientačně $d \cong 1,3t \div 1,5t$.
 - u přírub (tlakové nádoby, potrubí) uvažovat počet šroubů dělitelný 4, vzdálenost min. $3d$, maximálně $6d^1$:

$$3 \leq \frac{\pi D_r}{id} \leq 6,$$

kde D_r je roztečný průměr šroubů (orientační pravidlo).

¹ Jde o rovnoměrné rozložení tlaku na těsnění a prostor pro klíč.

Provozní síla na 1 šroub F (kN)			Předpětí F_0 (kN)	Jmenovitý průměr šroubu d (mm)					
statická ve směru osy	dynamická, ve směru osy	statická nebo dyna- mická kol- mo na osu		třída pevnosti šroubu					
				4.6	4.8 6.6	5.8 6.9	8.8	10.9	12.9
1,6	1,0	0,32	2,5	6	5	4	4	—	—
2,5	1,6	0,5	4,0	8	6	5	5	4	4
4,0	2,5	0,8	6,3	10	8	6	6	5	5
6,3	4,0	1,25	10	12	10	8	8	6	5
10	6,3	2,0	16	16	12	10	8	8	8
16	10	3,15	25	20	16	12	10	10	8
25	16	5	40	24	20	14	14	12	10
40	25	8	63	27	24	18	16	14	12
63	40	12,5	100	33	30	22	20	16	16
100	63	20	160	—	—	27	24	20	20
160	100	31,5	250	—	—	—	30	27	24
250	160	50	400	—	—	—	—	30	30

Tabulka 1

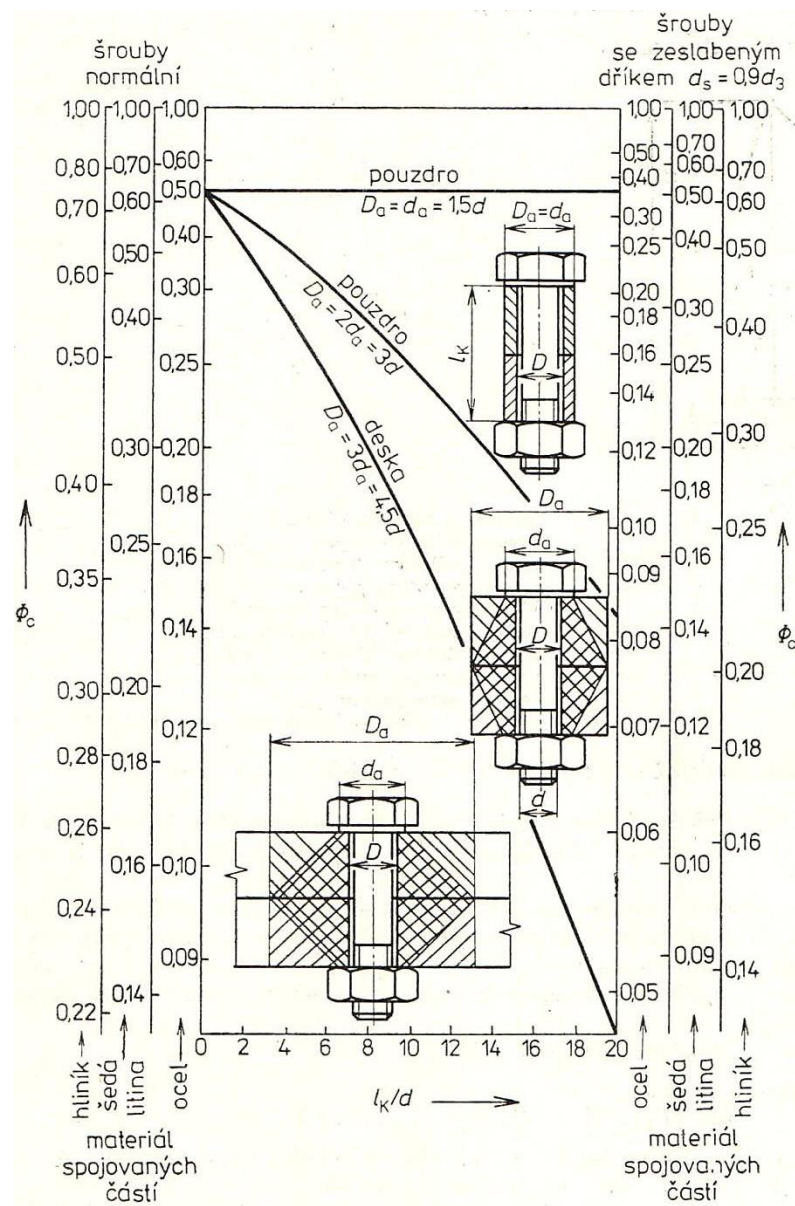


Diagram 1

3. Určení silového poměru F a maximální síly F_s . Silový poměr (tuhostní konstantu spoje) Φ určíme z diagramu 1 (a dále ve zjednodušení $\Phi = 0,5 \cdot \Phi_C$)² podle typu spoje a materiálu spojovaných součástí.

Maximální síla ve šroubu:

$$F_s = F_0 + \Phi F.$$

4. Kontrola, zda $F_s \leq F_D$. Tabulka 3.

5. Výpočet tahového napětí při utahování:

$$\sigma_t = \frac{F_0}{A_s}.$$

6. Výpočet utahovacího momentu:

$$M_U = k \cdot F_0 \cdot d.$$

k – součinitel odporu v závitech (0,12 ÷ 0,18). Menší hodnoty pro mazané šrouby.

7. Kontrola, zda $M_U \leq M_D$. Tabulka 3.

Závit	Rozměr	F_D (kN)						M_D (N . m)					
		4.6	5.6	5.8	8.8	10.9	12.9	4.6	5.6	5.8	8.8	10.9	12.9
Metrický normální	M 4	1,4	1,7	2,3	3,7	5,2	6,25	1,16	1,5	1,9	3,1	4,4	5
	M 5	2,3	2,9	3,8	6,1	8,6	10,3	2,4	3,0	4,1	6,5	9	11
	M 6	3,2	4,0	5,4	8,6	12,1	14,5	4,1	5,2	6,9	11	15	18
	M 8	5,9	7,4	9,9	15,8	22,3	26,7	9,8	12	16	26	37	45
	M 10	9,5	11,8	15,8	25,2	35,5	42,6	20	25	33	53	75	90
	M 12	13,8	17,3	23,0	36,8	51,5	62	35	43	57	92	130	155
	M 14	18,9	23,7	31,6	50,5	71	85	54	68	91	145	205	250
	M 16	26,3	32,8	43,8	70	98	118	86	110	145	230	320	385
	M 18	31,5	39,5	52,5	84	118	142	115	145	195	310	435	520
	M 20	40,9	51	68	109	153	184	165	210	280	445	630	750
	M 22	51	64	85	136	191	229	225	280	375	600	840	1 000
	M 24	59	74	98	157	221	265	290	360	480	770	1 100	1 300
	M 27	78	97	129	207	291	349	430	540	720	1 150	1 600	1 950
M 30	95	118	157	252	354	425	580	730	970	1 550	2 200	2 600	
Metrický jemný	M 8 × 1	6,5	8,2	10,9	17,4	24,4	29,3	10,9	13,6	18	29	41	49
	M 10 × 1,25	10,2	12,8	17,0	27,2	38,2	45,9	21	27	35	57	80	95
	M 12 × 1,25	15,6	19,5	26,0	41,6	58,5	70	39	49	66	105	145	175
	M 12 × 1,5	14,7	18,3	24,4	39,1	55	66	36	45	60	97	135	165
	M 14 × 1,5	21,2	26,5	35,3	56,5	79	95	60	75	100	160	225	270
	M 16 × 1,5	28,5	35,6	47,5	76	107	128	92	115	155	245	345	410
	M 18 × 1,5	37,1	46,5	62	99	139	167	135	165	220	355	500	600
	M 20 × 1,5	47	59	79	126	176	212	185	235	310	500	700	840
	M 22 × 1,5	58	72	96	154	217	261	250	315	420	670	940	1 150
	M 24 × 2	66	83	110	176	248	297	320	400	530	850	1 200	1 450
	M 27 × 2	86	107	143	229	322	387	470	590	780	1 250	1 750	2 100
M 30 × 2	108	135	180	288	406	487	660	820	1 100	1 750	2 450	2 950	

Tabulka 2

8. Výpočet napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_U}{0,2d^3}.$$

9. Výpočet redukovaného napětí:

² Hodnota 0,5 je tzv. poměr sevřených délek, obecně n , závisí na konkrétní konstrukci spoje, zde je pro jednoduchost uvedena jakási průměrná hodnota. Ve skutečnosti se podle konstrukce pohybuje mezi 0,3 a 0,7.

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_k^2}$$

10. Kontrola bezpečnosti proti trvalým deformacím:

$$k_K = \frac{Re}{\sigma_{red}}$$

mez kluzu podle tabulky 2 (viz třída pevnosti). Bezpečnost 1,2 až 2,2, větší hodnota pro malé šrouby. Volte spíše větší hodnotu vzhledem k zanedbání vlivů uvedeném v úvodu.

B. Zatížení silou kolmou k ose

Únosnost třecího spoje s 1 šroubem vysoké pevnosti:

$$U_1 = m \cdot f \cdot F_0$$

kde m je součinitel působení (statické namáhání 1, dynamické 0,8), f je součinitel tření (tabulka 4).

Počet šroubů:

$$n = \frac{F_1}{U_1 \cdot p}$$

kde F_1 je zatížení kolmé k ose a p počet třecích ploch.

Způsob úpravy stykových ploch		Součinitel μ pro konstrukce z oceli řady	
		37, 42, 45	48, 52
Otryskání ocelovou drtí nebo pískem	konstrukce železničních mostů	0,50	0,50
	ostatní konstrukce	0,50	0,60
Opálení kyslíkoacetylenovým plamenem		0,45	0,45
Neupravené		0,30	0,30

Tabulka 3

1. Předběžný návrh průměru, volba předpětí.
2. Únosnost spoje.
3. Počet šroubů.
4. Výpočet napětí v tahu a v krutu při utahování (viz výpočet A).
5. Redukované napětí a výpočet bezpečnosti vzhledem k mezi kluzu (viz výpočet A).

Pozn. 1: Jedná-li se o lícované šrouby, pak kontrola na smyk a na otláčení.

Pozn. 2: Kontrola otláčení mezi hlavou a součástí:

$$p = \frac{F_s}{A_p} \leq p_D$$

kde A_p je styková plocha mezi hlavou a součástí. Pokud tlak nevyhoví, použít podložku, nebo změnit materiál součástí.

Šrouby zatížené dynamicky (míjivě) – zjednodušený výpočet

1. Určení amplitudy:

$$\sigma_a = \frac{\Delta F_s}{2A_s}, \Delta F_s = \Phi \cdot F.^3$$

2. Bezpečnost proti únavovému lomu:

$$k_c = \frac{\sigma_A}{\sigma_a},$$

hodnoty mezní amplitudy σ_A (MPa) z tabulky 5. Hodnota bezpečnosti 1,5 až 4.

Materiál		Jmenovitý průměr šroubu		
šroubu	matice	M 4 až M 8	M 10 až M 16	M 18 až M 30
4.6	4	40	34	27
5.6	4	45	38	30
6.9	5	55	45	35
8.8	6	60	50	40
10.9	8	70	60	50
12.9	8	70	60	50

Tabulka 4

J. Gruber, SPŠ strojnická a SOŠ prof. Švejcara, Plzeň, 2021.

³ $\Delta F_s/2$ je velikost amplitudy míjivého cyklu, kdy zatížení kolísá mezi silou předpětí a maximem ve šroubu.