

6KT

KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ - PŘEVODY

Uložení satelitů planetového převodu

David Rebenda

David.Rebenda@vut.cz

A2/401

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

6. cvičení





Náplň šestého cvičení

Bezpečnost ozubení v ohybu a v dotyku

Časový harmonogram	
T.	Část výpočtu
5.	Pevnostní kontrola ozubení v ohybu
6.	Dimenzování ozubení s ohledem na požadovanou bezpečnost v dotyku a ohybu
	Stanovení silového působení v uložení satelitů
	Návrh čepu pro uložení satelitů



Kontrolní list		
T.	Parametr	
4.	Bezpečnost v dotyku (centrální kolo)	S_{H1}
	Bezpečnost v dotyku (satelit)	S_{H2}
5.	Bezpečnost v ohybu (centrální kolo)	S_{F1}
6.	Radiální síla v uložení satelitu	F_{tU}
	Průměr čepu satelitu	$d_{2č}$



Dimenzování ozubení s ohledem na bezpečnost

Volené hodnoty ovlivňující bezpečnost v dotyku a ohybu

- Modul ozubení m_n
- Počet satelitů a_K
- Šířka ozubení b_{12}
- Tvrdost kol H_1, H_2

$$S_H = \frac{\sigma_{Hlim} Z_{NT}}{\sigma_H} Z_L Z_V Z_R Z_W Z_X$$

$$S_F = \frac{\sigma_{FE} Y_{NT}}{\sigma_F} Y_{\delta rel T} Y_{R rel T} Y_X$$

<i>Bezpečnost v dotyku S_{H1} a S_{H2}</i>	<i>Maximální počet bodů z výpočtu</i>
1,1 - 1,3	25
1,3 - 1,5	23
1,5 - 1,75	21
1,75 - 1,9	19
1,9 - 2,1	15

Bezpečnost v ohybu S_{F1} a S_{F2}

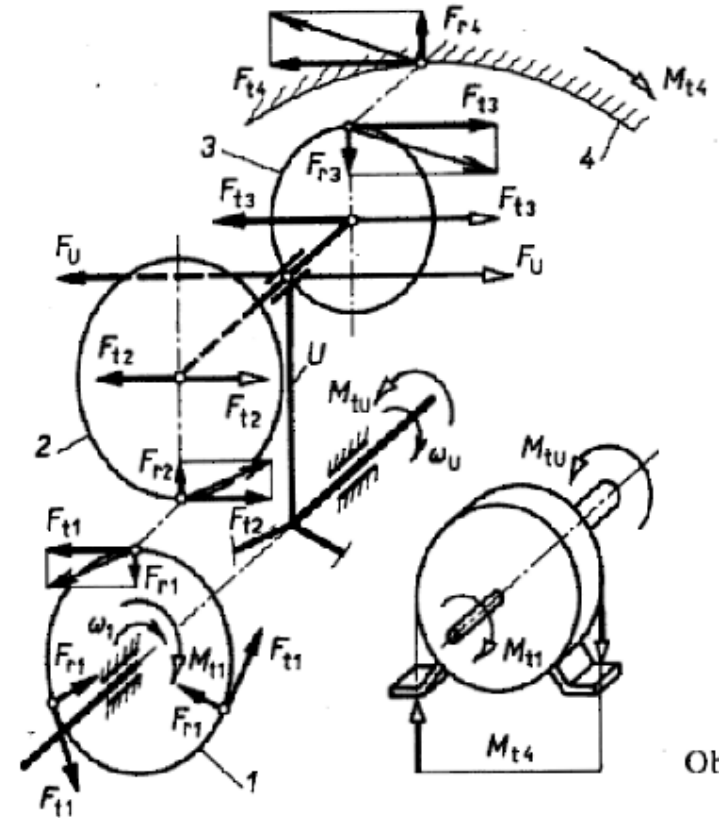
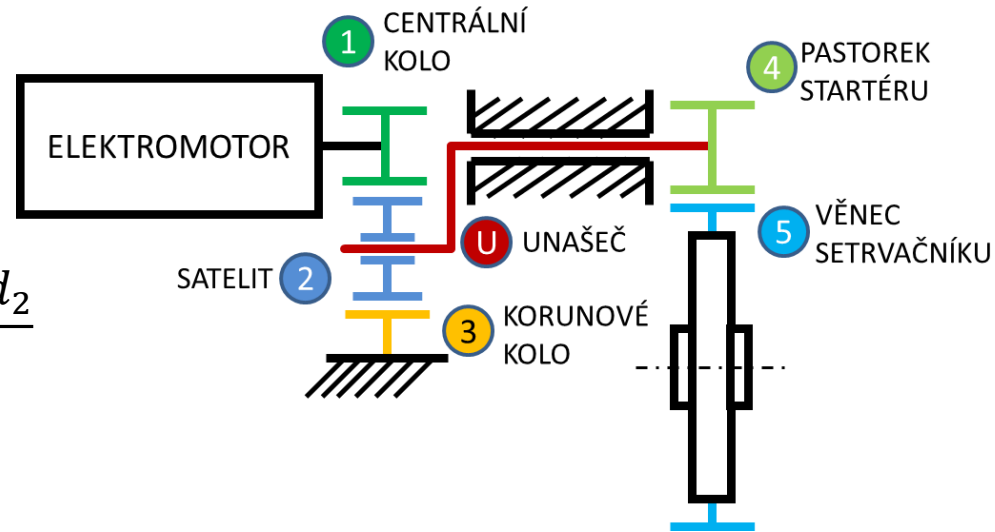
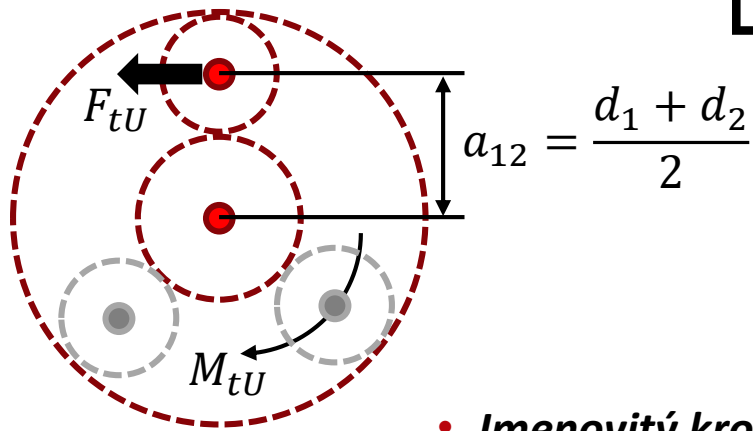
1,5 - 2,5	<i>velmi dobré</i>
2,5 - 3,5	<i>dobré</i>
3,5 - 4,5	<i>dostačující</i>
> 4,5	<i>konzultace</i>



Uložení satelitů planetového převodu startéru

Silové působení v místě uložení

- Síly působící od ozubení jsou zanedbatelné – vzájemně se ruší
- Jediná zátěžná síla čepu vzniká přenášeným momentem/výkonem



- **Jmenovitý kroutící moment na ramenu unašeče** $M_{tU} = \frac{M_4}{a_K}$

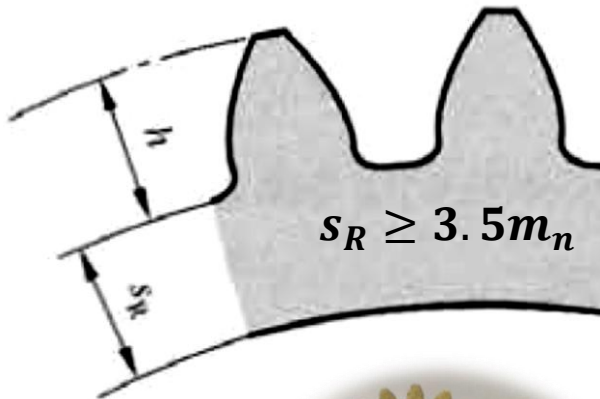
- **Radiální síla v uložení čepu** $F_{tU} = \frac{M_{tU}}{a_{12}}$



Uložení satelitů planetového převodu startéru

Volba průměru a materiálu čepu

- Maximální průměr čepu limitován tloušťkou věnce satelitu a tloušťku stěny kluzného pouzdra

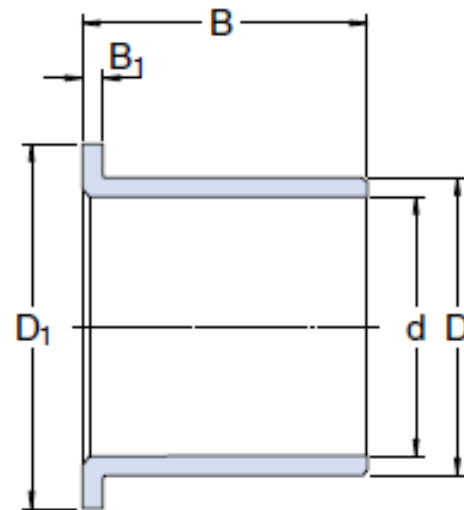


$$d_{\check{c}_{max}} \cong d_{a2} - 2(3.5m_n) - (D_{pouzdro} - d_{pouzdro})$$

- Materiál čepu volit z tab. A-21a, str. 1127-1128



- Kontrola čepu na střih** (pro $d_{\check{c}} \leq 4\text{mm}$)
- Kontrola čepu na otláčení** (dovolené tlaky viz tab. 18-8, str. 1081)





Uložení satelitů planetového převodu startéru

Kontrola čepu na stříh

- Materiálové charakteristiky

Tab. A-21a

Mechanické charakteristiky vybraných českých ocelí.

ČSN EN 10027-2	ČSN 42 0002	$s \leq$ (mm)	R_m min. (MPa)	R_e min. (MPa)	A_5 min. (%)	KV min. (J)	HV max.	σ_c (MPa)	σ_{co} (MPa)	τ_{ck} (MPa)
vybrané oceli obvyklých jakostí pro všeobecné použití										
1.0035	10 000.0	13	500 max	–	–	–	–	185	240	170
1.0035	10 004.0	8	490 max	–	20	–	–	185	240	170
1.0028	11 343.0	40	310	195	30	–	158	120	150	105
1.0036	11 373.0	40	340	225	26	27	166	130	170	100
1.0038	11 375.0	40	340	225	26	27	166	130	170	100
1.0167	11 379.0	40	360	235	26	52	–	135	180	105
1.0040	11 423.0	40	410	245	24	19	185	150	200	130
1.0042	11 425.0	40	410	245	24	20	182	150	200	130
1.0136	11 428.0	Ø25	410	245	24	20	–	150	200	130
1.0050	11 500.0	40	470	285	20	–	206	180	240	150
1.0060	11 600.0	40	570	325	16	–	260	220	280	170

- Mez kluzu ve smyku

$$R_{se} = 0,557 R_e$$

- Kontrola čepu na stříh

$$\frac{R_{se}}{k_n} \geq \frac{4F_{tU}}{\pi d_{2\check{c}}^2}$$

Kontrola čepu na otláčení

- Dovolené napětí na otláčení

Tab. 18-8

Dovolené tlaky na bocích drážek v náboji u spojů hřídele s nábojem drážkovými klíny, polygonovými spoji, těsnými perami a drážkovými spoji. (K. H. Decker, K. Kabus, *Maschinenelemente, Tabellen und Diagramme*, Carl Hanser Verlag, München, 2002/2004, s. 71.)

základní hodnota tlaku p_0 (MPa) pro náboj

ocel, ocel na odlitky	šedá litina	temperovaná litina	bronz, mosaz	slitina AlCuMg, vytvrzená	slitina AlMg, AlMn, AlMgS, vytvrzená	slévárenská slitina AlSiMg
150°	90	110	50	100	90	70

* Pro hrzené boky drážky je $p_0 = 200$ MPa.

dovolený tlak na bocích drážek v náboji p_D zatížení

	drážkové klíny a polygonové spoje	těsná pera a drážkové spoje
jednosměrné, klidné	1,1 p_0	0,8 p_0
jednosměrné, malé rázy	1,0 p_0	0,7 p_0
jednosměrné, velké rázy	0,75 p_0	0,6 p_0
střídavé, malé rázy	0,6 p_0	0,45 p_0
střídavé, velké rázy	0,45 p_0	0,25 p_0

- Měrné zatížení

$$p_m = \frac{F_{tU}}{d_{2\check{c}} b_2}$$

- Kontrola čepu na otláčení

$$p_m \leq p_d$$



Uložení satelitů planetového převodu startéru

Volba materiálu kluzného pouzdra s mezním mazáním a jeho kontrola

- Doporučeno volit pouzdro z mosazi plněné pevným mazivem Oiles 500 ([odkaz](#))
- Je možné volit pouzdra přímo z katalogů výrobců



(str. 705, tab. 12-8 až 12-12)

materiál ložiska	dovolené měrné zatížení (MPa)	dovolená teplota (°C)	dovolená obvodová rychlost čepu ($m \cdot s^{-1}$)	dovolená hodnota $(p_m v)_D$ ($MPa \cdot m \cdot s^{-1}$)
litý bronz	30	160	8	1,75
pórovitý bronz	30	65	8	1,75
pórovité železo	55	65	4	1,75
fenoloplast	40	95	13	0,50
nylon	7	95	5	0,10
teflon	3	260	0,5	0,04
zpevněný teflon	17	260	5	0,40
teflonová tkanina	420	260	0,3	0,90
delrin	7	80	5	0,10
grafit	4	400	13	0,50
pryž	0,4	65	20	-
dřevo	14	65	10	0,50

dovolené provozní parametry	jednotka	hodnota
kontaktní tlak p'_D	MPa	25
kluzná rychlost v_D	$m \cdot s^{-1}$	0,5
hodnota součinu $(p_m v)_D$	$MPa \cdot m \cdot s^{-1}$	1,65
teplota t_D	°C	150

materiál ložiska	součinitel opotřebení k ($10^{-4} \cdot mm^3 \cdot s \cdot N^{-1} \cdot m^{-1} \cdot h^{-1}$)	dovolená hodnota $(p_m v)_D$ ($MPa \cdot m \cdot s^{-1}$)
Oiles 500 ^a	0,42	1,64
kopolymer acetal (POM)	35,4	0,17
homopolymer acetal (POMH)	42,6	0,10
nylon (PA66)	142	0,07
nylon (PA66) + 15 % PTFE	9,6	0,24
nylon (PA66) + 15 % PTFE + 30 % skleněných vláken	11,4	0,35
nylon (PA66) + 2,5 % MoS ₂	142	0,07
nylon (PA6)	142	0,07
polykarbonát (PC) + 15 % PTFE	52,8	0,24
spékaný bronz	71,4	0,30
fenol + 25 % skleněných vláken	5,7	0,40



Uložení satelitů planetového převodu startéru

Volba materiálu kluzného pouzdra s mezním mazáním a jeho kontrola (str. 705, tab. 12-8 až 12-12)

• Je nutné zkontrolovat:

• **Hodnota součinu $p_m v$** (dovolená hodnota dána výrobcem)

Příklad 12-7, str. 708

• $p_m v$ nezáví na průměru čepu d , v případě nesplnění podmínky potřeba větší počet satelitů

• **Kluzná (obvodová) rychlost $v_{\check{c}}$** (dovolená hodnota dána výrobcem)

• **Lineární opotřebení pouzdra $w_{\check{c}} = f_1 f_2 k_p p_{max} v_{\check{c}} L_h$**

$$p_{max} = \frac{4}{\pi} p_m \quad w_D \approx 1,5(f_{pe} - \gamma_\alpha)$$



- Dovolená hodnota opotřebení je volbou konstruktéra, nicméně musí zaručit bezproblémový chod!
- Rozměrový poměr ložiska $0,5 \leq l/d \leq 2$
- Dovolené hodnoty zkontrolovat s katalogem výrobce již pro konkrétní ložisko

V případě nevyhovění kluzných ložisek nutné volit ložiska valivá!



Uložení satelitů planetového převodu startéru

Volba materiálu kluzného pouzdra s mezním mazáním a jel

- Je nutné zkontrolovat:
 - **Hodnota součinu $p_m v$** (dovolená hodnota dána výrobcem)
 - $p_m v$ nezáví na průměru čepu d , v případě nesplnění podmín
 - **Kluzná (obvodová) rychlost $v_{\check{c}}$** (dovolená hodnota dána výrc
 - **Lineární opotřebení pouzdra $w_{\check{c}} = f_1 f_2 k_p p_{max} v_{\check{c}} L_h$**

$$p_{max} = \frac{4}{\pi} p$$
- Dovolená hodnota opotřebení je volbou konstruktéra, nicméně mu
- Rozměrový poměr ložiska $0,5 \leq l/d \leq 2$
- Dovolené hodnoty zkontrolovat s katalogem výrobce již pro konkré

druh pohybu	měrné zatížení p_m (MPa)	kluzná rychlost v (m·s ⁻¹)	součinitel f_1 (1)
rotační	<5	<0,017	1,0
		0,017–0,17	1,0–1,3
	5–25	0,17–0,51	1,3–1,8
		<0,017	1,5
kývavý	<5	>30°	1,3
		<30°	1,3–2,4
	5–25	>30°	2,0
		<30°	2,0–3,6
	5–25	>30°	2,0
		<30°	2,0–3,2
vratný	<5	<0,17	1,5
		0,17–0,51	1,5–3,8
	5–25	<0,17	2,0
		0,17–0,51	2,0–7,5

teplota okolí t_{zv} (°C)	přítomnost nečistot	součinitel f_2 (1)
<60	ne	1,0
<60	ano	3,0–6,0
60–99	ne	3,0–6,0
60–99	ano	6,0–12,0

V případě nevyhovění kluzných ložisek nutné volit lož

Děkuji vám za pozornost

David Rebenda

David.Rebenda@vut.cz

<http://uk.fme.vutbr.cz/>