

KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ

Joseph E. SHIGLEY
Charles R. MISCHKE
Richard G. BUDYNAS

Převodovka ovládání potrubního ventilu

Matúš Ranuša

ranusa@fme.vutbr.cz

A2/401

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

Podmínky získání zápočtu

Podmínky zápočtu

- Účast na cvičeních je kontrolována.
- Min. 20 bodů z 40 možných
- Tolerují se **maximálně 2 omluvené neúčasti**

Bodové hodnocení

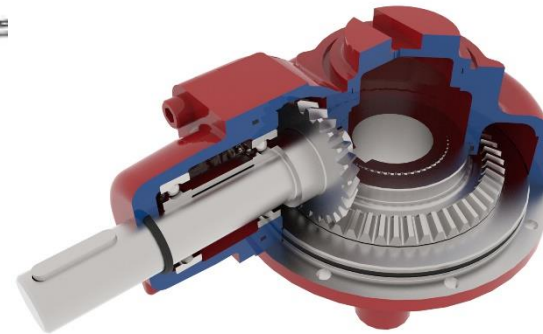
- | | |
|-----------------------------------|-----|
| • Výpočtová zpráva | 25b |
| • Výkresy sestavy/návrhový výkres | 10b |
| • Výrobní výkresy (pastorek) | 5b |

Příprava na cvičení

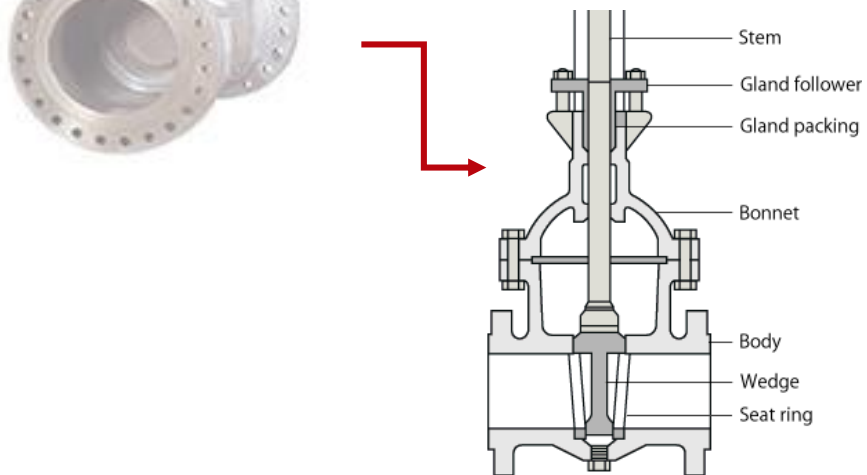
- Na začátku každého cvičení proběhne kontrola výstupů z minulého cvičení. Při nesplnění těchto výstupů budou studentovi odečteny 2 body.
- U kontroly musí student předložit detailní výpočet a kontrolní list.
- Každé cvičení navíc proběhne podrobná kontrola výpočtu u všech studentů



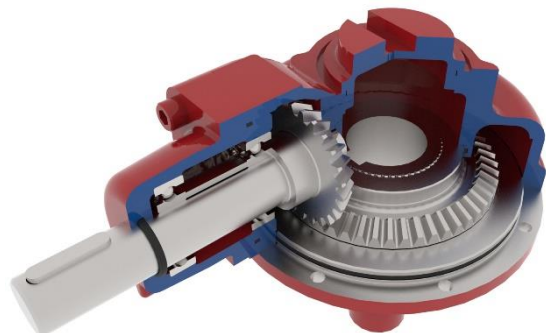
Příklad použití



- Ovládání armaturových ventilů
- Regulace průtoku
 - Ropné terminály
 - Distribuce kapalných medií
- Plnění zásobníků



Požadavky na ovládací převodovku

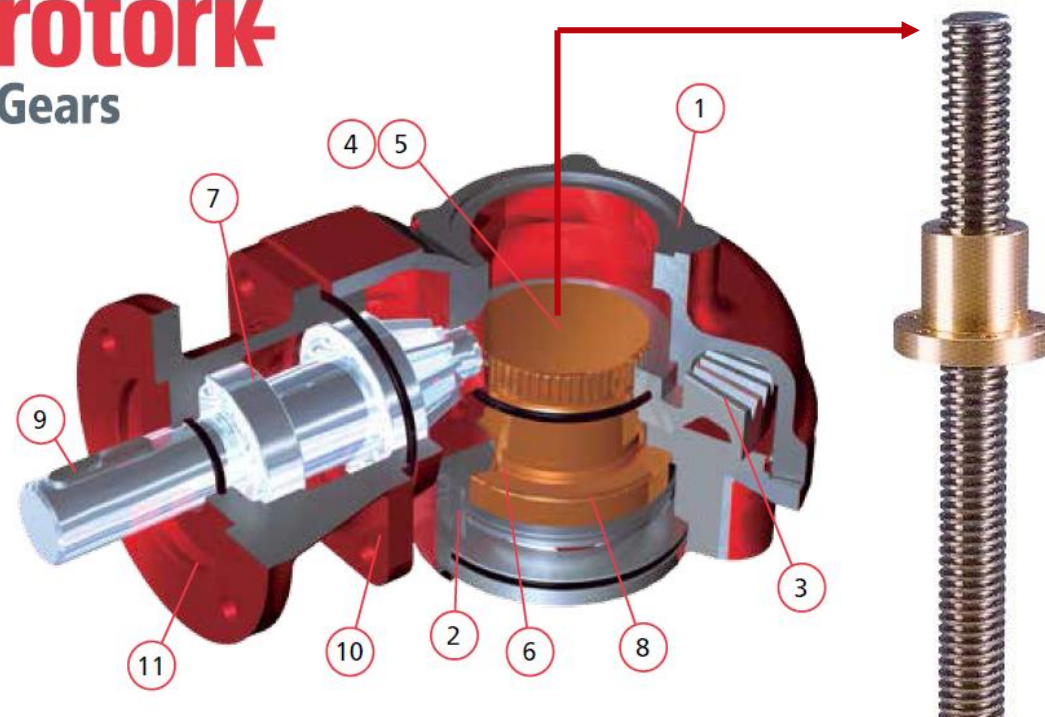


- Osy vstupního a výstupního hřídele mají svírat úhel 90° .
- Požadovaná trvanlivost je 10 000 hod.
- Skříň litá ze šedé litiny s přírubou a připojovacími rozměry pro připojení k ventilu (viz. výkres).
- Výstupní hřídel zakončen válcovým koncem s drážkou pro pero podle normalizovaných konců hřídelů a respektováním připojovacích rozměrů motorizovaného pohonu.
- Ložiska standardní kuličková pro uložení pastorku a axiální kuličková pro ozubené kolo.
- Kuželové soukolí navrhnete dle ISO 10300-1, nekorigované s přímými zuby. Použít základní profil dle ISO 53.
- Mazání – náplň tuhého maziva Renolit CL-X2
- Malá nerovnomernost chodu
- Oboustranné uložení pastorku
- Výstupní závit – rovnoraměný lichoběžníkový (přírubová matice)

Sestava převodovky

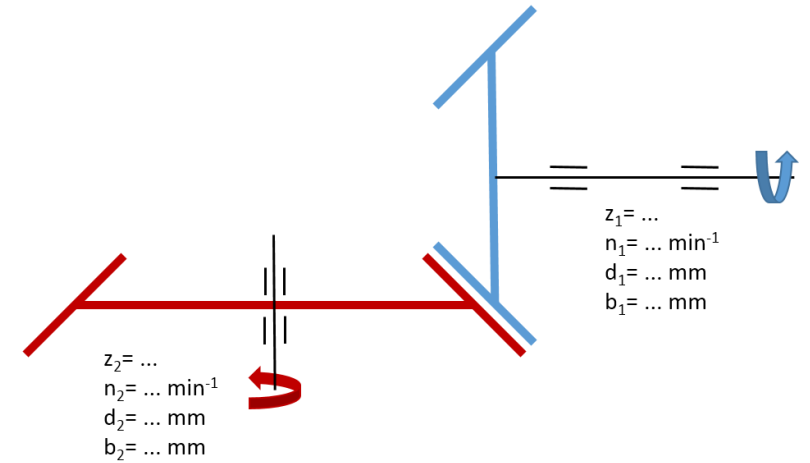
Položka	Název	Specifikace	Materiál
1.	Skříň	Odlitek	Litina
2.	Příruba	SG Iron	Ocel
3.	Ozubené kolo	SG Iron steel	Uhlíková ocel
4.	Náboj	Steel	Uhlíková ocel
5.	Ovládací matice	Aluminium bronz	Bronz
6.	Těsnění		Guma
7.	Radiální ložiska	2 ks	
8.	Axiální ložisko	1 ks	
9.	Hřídel pastorku	Steel	Uhlíková ocel
10.	Fasteners	Steel	Ocel
11.	Vstupní příruba	Cast Iron	Ocel
12.	Ovládací šroub	Trapézový šroub	EN 10083-2

rotork[®]
Gears



Zadání

Základní popis soukolí			
Typ soukolí	Kuželové soukolí		
Sklon zubů	Přímé zuby		
Počet stupňů soukolí	1		
Vstupní parametry výpočtu			
Osová síla na pohybovém šroube	F_o	53 000	N
Výstupní otáčky:	n_1	100	min^{-1}
Vstupní krouticí moment	M_{vstup}	80	Nm
Převodový poměr	i		-
Maximální průměr ozubeného kola	d_{max}	240	mm
Maximální hodnota bezpečnosti v dotyku:	S_{HLim}	1,5	-
Maximální hodnota bezpečnosti v ohybu:	S_{FLim}	5	-
Pohybový šroub	Trapézový šroub		
Průměr šroubu	d	50	mm
Bezpečnost šroubu pro výstupný moment	k	1,3	-
Součinitel vnějších dynamických sil:	K_A	1,25	-
Provozní teplota:	t	20	$^{\circ}\text{C}$



Časový harmonogram - kontrola

Časový harmonogram

Týden	Část výpočtu	Konstruování strojních součástí	
		Kapitola	Strany
1.	Návrh pohybového šroubu	8	424- 428
	Návrh modulu ozubení	15	736; 741
	Výpočet roztečné kružnice pastorku	15	867
	Výpočet roztečné kružnice kola	15	867
2.	Výpočet základních parametrů ozubení	15	867
	Výpočet virtuálního soukolí	15	872
3.	Pevnostní kontrola ozubení v dotyku	14	876 – 877
4.	Pevnostní kontrola ozubení v ohybu	14	877
5.	Optimalizace ozubení		
6.	Stanovení silového působení na výst. hřídeli	6; 5KS	-
	Návrh minimálního průměru výst. hřídele dle MSP	6; 5KS	316 (6-25)
	Návrh minimálního průměru výst. hřídele dle MSÚ	7; 5KS	365 – 372
	Konstrukční návrh výstupního hřídele		-
	Stanovení VVÚ výstupního hřídele	5KS	-
	Stanovení kritických míst výstupního hřídele	5KS	-
	Stanovení bezpečností kritických míst vůči MSP	6; 5KS	278 – 280
	Stanovení bezpečností kritických míst vůči MSÚ	7; 5KS	365 – 372
7.	Výpočet trvanlivosti prvního ložiska	12	708 – 709
	Výpočet trvanlivosti druhého ložiska	12	708 – 709
	Návrh délky pera na výst. hřídeli (otlačení v náboji)	18	1080 – 1081
8.	Návrhový výkres sestavy		1K, 2K
9.	Výrobní výkres pastorku		1K, 2K
10.	Výrobní výkres ozubeného kola		1K, 2K
11.	Kontrola výkresové dokumentace		-
12.	Udělení zápočtu		-

Kontrolní list							
Týden	Parametr		Výsledky - iterace				
			1.	2.	3.	4.	5.
1.	Vstupní moment	M_{vst}					
	Výstupní moment	$M_{výst}$					
	Bezpečnost šroubu	k_s					
	Vnější rozt. kružnice pastorku	d_{e1}					
	Vnější rozt. kružnice kola	d_{e2}					
	Počet zubů pastorku	z_1					
2.	Počet zubů kola	z_2					
	Vnější délka površky	R_e					
	Úhel rozt. kužele pastorku	δ_1					
	Úhel rozt. kužele kola	δ_2					
	Vnější modul	m_{et}					
	Střední modul	m_{mt}					
3.	Počet zubů virtuálního pastorku	z_{v1}					
	Počet zubů virtuálního kola	z_{v2}					
	Průměr rozt. kružnice pastorku	d_{v1}					
	Průměr rozt. kružnice kola	d_{v2}					
	Virtuální převodový poměr	i_v					
	Součinitel záběru kroku	E_{φ}					
4.	Materiál pastorku	σ_{Hlim1}					
		σ_{Hlim1}					
		H_{H1}					
	Materiál ozubeného kola	σ_{Hlim2}					
		σ_{Hlim2}					
		H_{H2}					
5.	Napětí v dotyku (pastorek)	σ_{H1}					
	Napětí v dotyku (kolo)	σ_{H2}					
	Přip. napětí v dotyku (pastorek)	σ_{HP1}					
	Přip. napětí v dotyku (kolo)	σ_{HP2}					
	Bezpečnost v dotyku (pastorek)	S_{H1}					
	Bezpečnost v dotyku (kolo)	S_{H2}					
6.	Přip. napětí v ohybu (pastorek)	σ_{FP1}					
	Přip. napětí v ohybu (kolo)	σ_{FP2}					

1. Iterácia

2. Iterácia

3. Iterácia

4. Iterácia

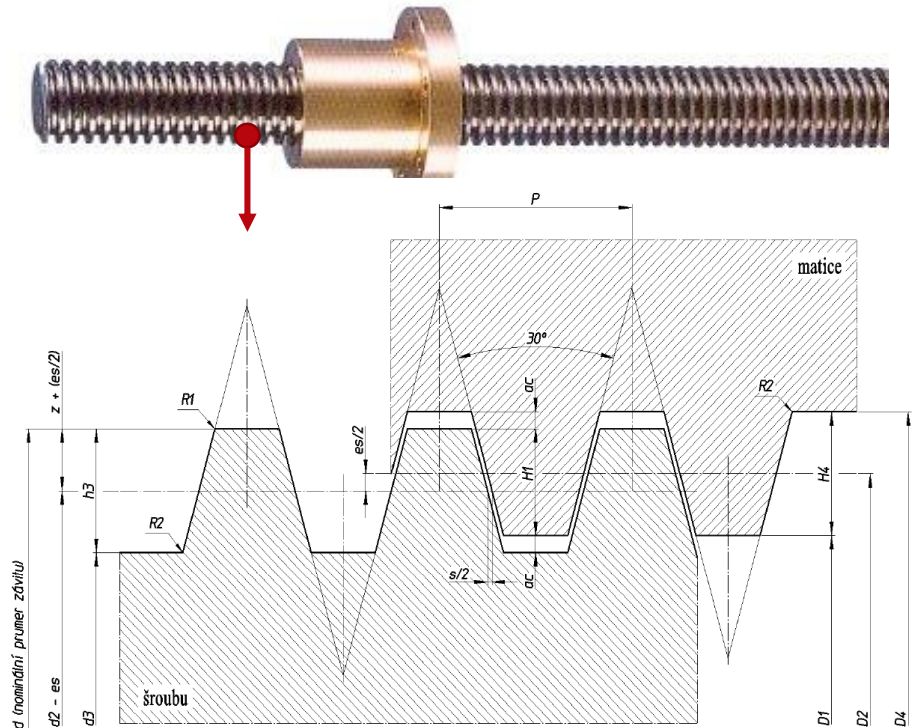
Volba pohybového šroubu

1.cvičenie

Výstupní moment	$M_{výt}$	←
Návrhový součinitel šroubu	k_s	←
Vnější rozt. kružnice pastorku	d_{e1}	
Vnější rozt. kružnice kola	d_{e2}	
Počet zubů pastorku	z_1	
Počet zubů kola	z_2	

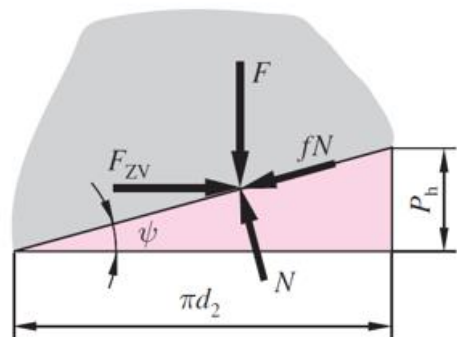
H1	0,5 P
d2	$D2 = d - 2 z = d - 0,5 P$
D2	$d + 2 ac$
ac	vůle
es	horní odchylka pro závit šroubu
s	$0,26795 es$
R1 max.	$0,5 ac$
R2 max.	ac

- Rovnoramenný lichoběžníkový trapézový šroub
- Šrouby typu Tr 50x8 s přírubovou maticí
- Výběr z katalogu – typ KTS (str.18)
 - Třída přesnosti 100
 - Materiál – uhlíková ocel EN 10083-2 1C45 – 1.0503



Výpočet pohybového šroubu

- Jednoduchý čtvercový závit



zvedání břemene

$$\sum F_H = F_{ZV} - N \sin \psi - fN \cos \psi = 0,$$

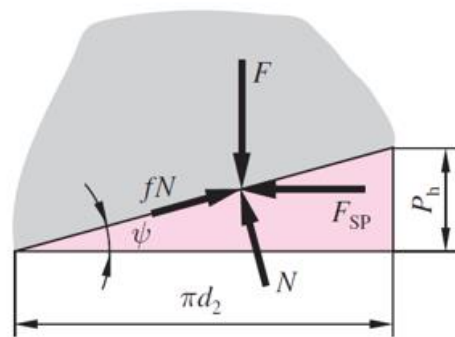
$$\sum F_V = F + fN \sin \psi - N \cos \psi = 0.$$

$$F_{ZV} = \frac{F(\sin \psi + f \cos \psi)}{\cos \psi - f \sin \psi}$$

$$\tan \psi = P_h / \pi d_2$$

$$F_{ZV} = \frac{F[(P_h / \pi d_2) + f]}{1 - (f P_h / \pi d_2)}$$

$$M_{ZV} = \frac{F d_2}{2} \left(\frac{P_h + \pi f d_2}{\pi d_2 - f P_h} \right)$$



spouštění břemene

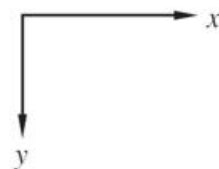
$$\sum F_H = -F_{SP} - N \sin \psi + fN \cos \psi = 0,$$

$$\sum F_V = F - fN \sin \psi - N \cos \psi = 0.$$

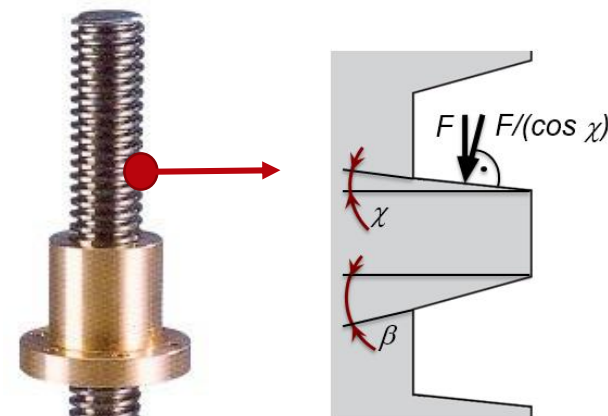
$$F_{SP} = \frac{F(f \cos \psi - \sin \psi)}{\cos \psi + f \sin \psi}$$

$$F_{SP} = \frac{F[f - (P_h / \pi d_2)]}{1 + (f P_h / \pi d_2)}$$

$$M_{SP} = \frac{F d_2}{2} \left(\frac{\pi f d_2 - P_h}{\pi d_2 + f P_h} \right)$$



- Lichobežníkový závit



Utahovací moment (Moment od ovládací síly)

$$M = \frac{F_{osova} d_2}{2} \left[\frac{P_h \cos \gamma + \pi f d_2}{\pi d_2 \cos \gamma - P_h f} \right]$$

Síla sevření

$$F_{osova} = \frac{2M}{d_2} \left[\frac{\pi d_2 \cos \gamma - P_h f}{P_h \cos \gamma + \pi f d_2} \right]$$

Kontrola pohybového šroubu

- Podmínka samosvornosti

$$x_{\text{podm}} := \tan\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) \cdot \cos(\gamma) \quad f > x_{\text{podm}}$$

- Pevnostní kontrola šroubu vzhledem k MSP

$$\tau_1 := \frac{16 \cdot M_{\text{vystupni}}}{\pi \cdot d_3^3} \quad \sigma_1 := \frac{4 \cdot F_{\text{thrust}}}{\pi \cdot d_3^2}$$

$$\sigma_{\text{red}} := \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \quad (\text{HMH nebo } \max \tau)$$

- Kontrola na otláčení

$$p_s := \frac{2 \cdot F_{\text{thrust}}}{\pi \cdot D_4 \cdot n_z \cdot P_s} \rightarrow \text{Rozteč závitu}$$

$$D_4 := d_3 + a_c \quad n_z := \frac{L_1}{P_s} \quad \text{Počet chodů matice}$$

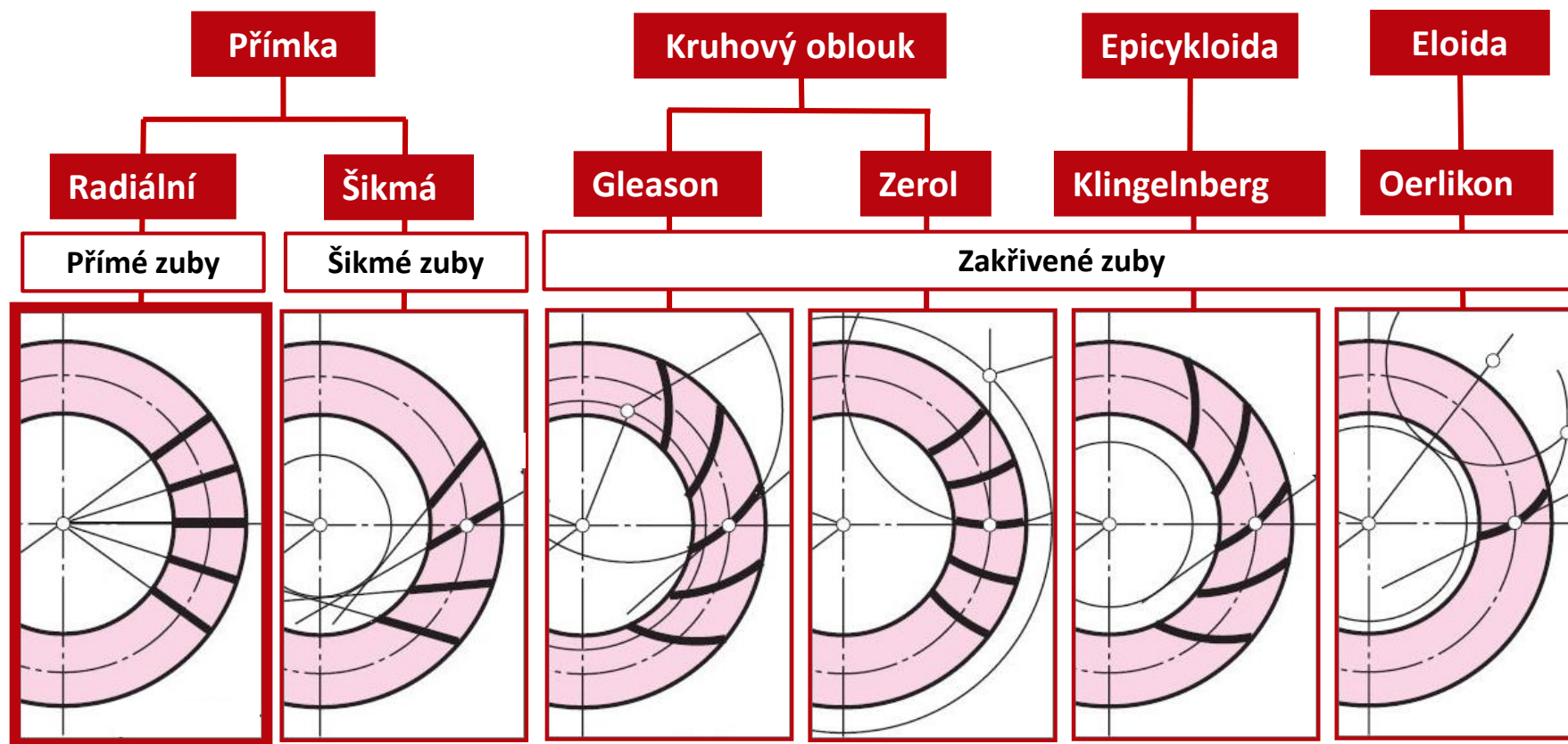
Vůle na vrcholu závitu



Druhy podle boční křivky zubů

1.cvičenie

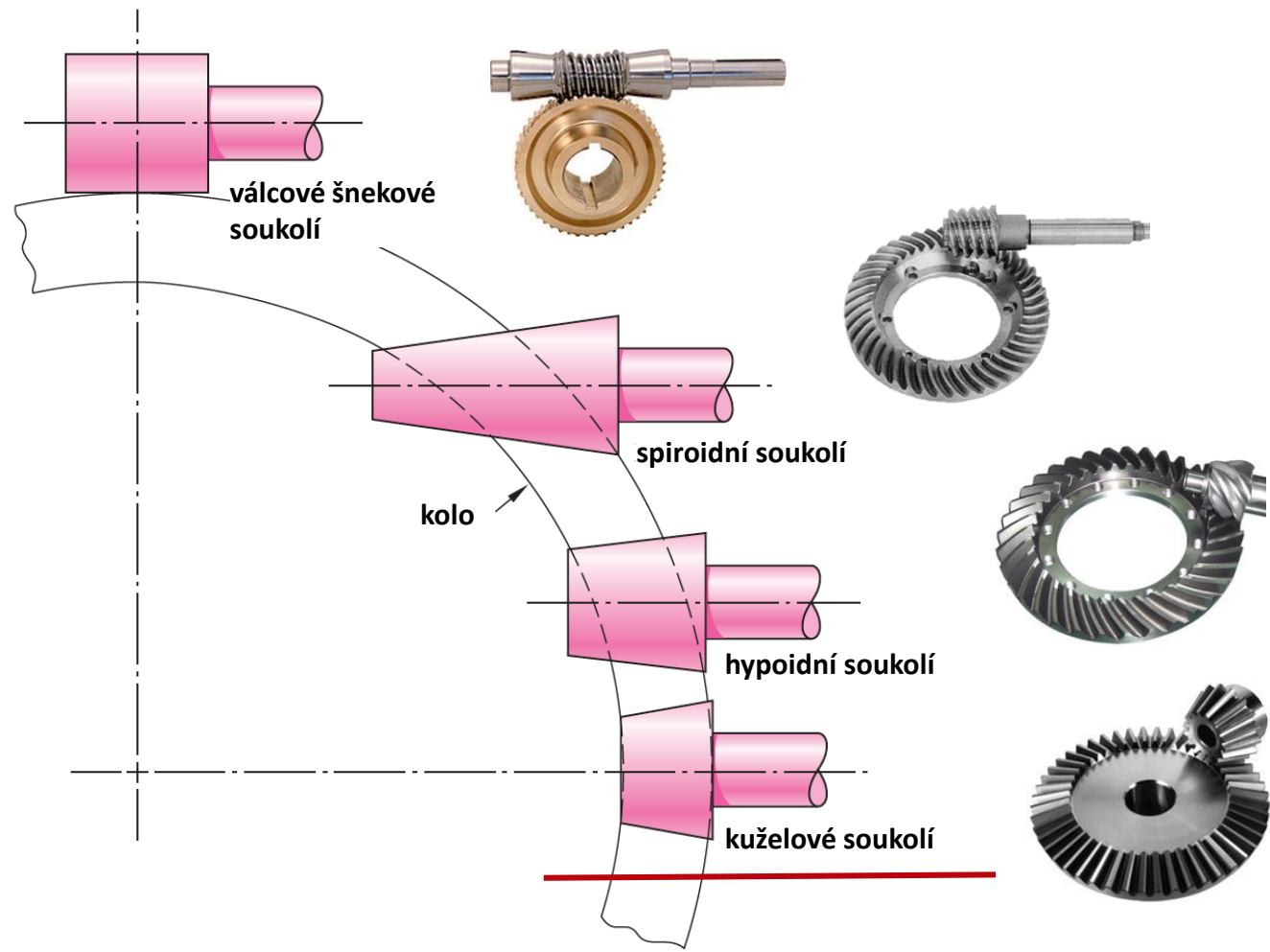
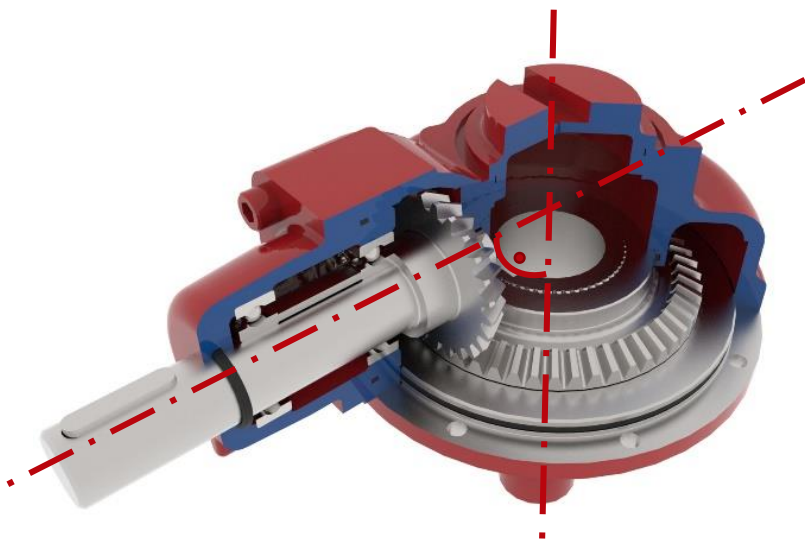
Výstupní moment	$M_{výt}$
Návrhový součinitel šroubu	k_s
Vnější rozt. kružnice pastorku	d_{e1}
Vnější rozt. kružnice kola	d_{e2}
Počet zubů pastorku	z_1
Počet zubů kola	z_2



Druhy podle boční křivky zubů

1.cvičenie

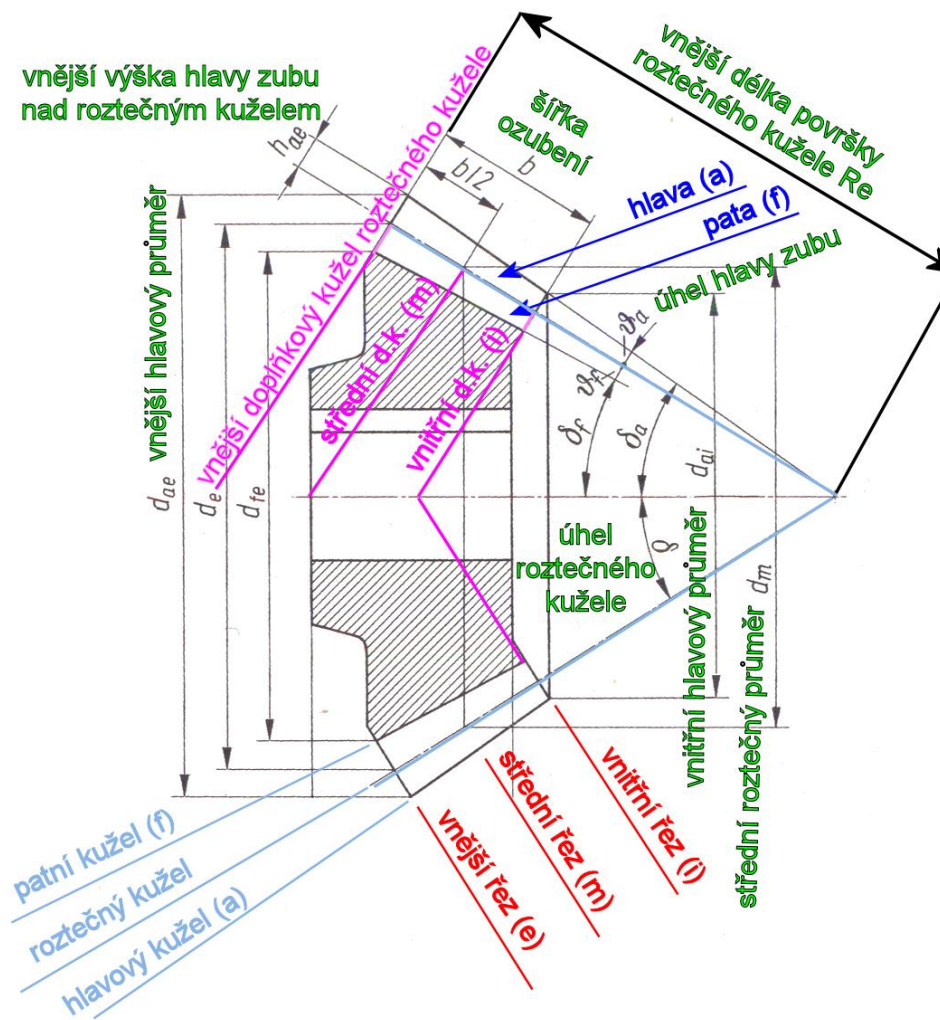
Výstupní moment	$M_{výt}$
Návrhový součinitel šroubu	k_s
Vnější rozt. kružnice pastorku	d_{e1}
Vnější rozt. kružnice kola	d_{e2}
Počet zubů pastorku	z_1
Počet zubů kola	z_2



Názvoslovie kuželového kola

1.cvičenie

Výstupní moment	$M_{\text{výt}}$
Návrhový součinitel šroubu	k_s
Vnější rozt. kružnice pastorku	d_{e1}
Vnější rozt. kružnice kola	d_{e2}
Počet zubů pastorku	z_1
Počet zubů kola	z_2



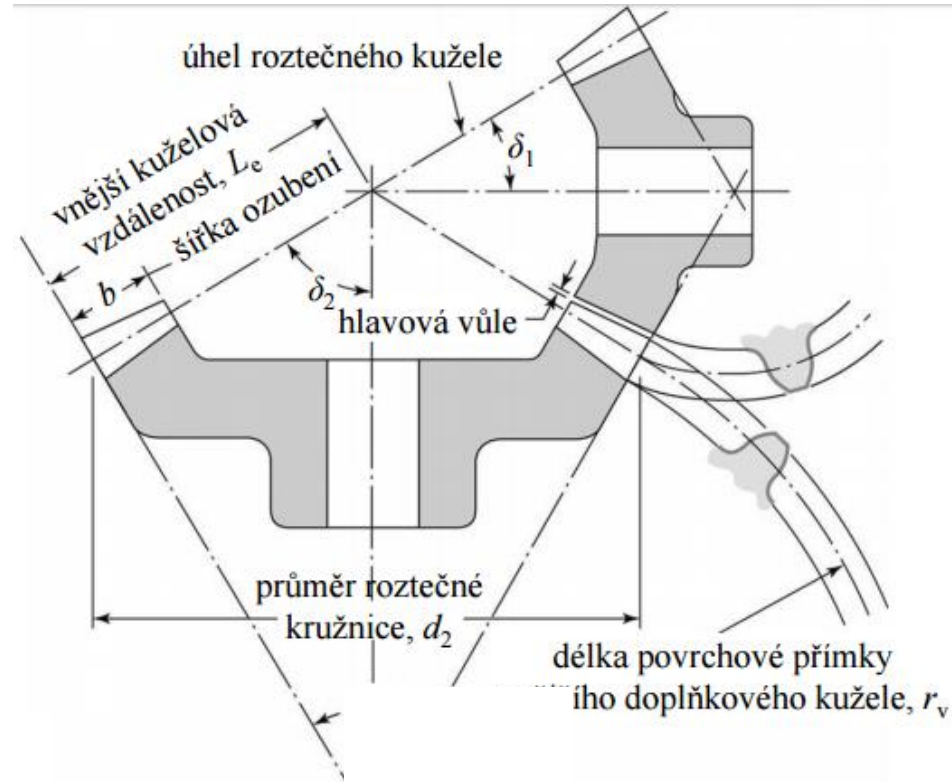
Návaznost veličin na:

- Vnitřní průměr kola (i)
- Vnější průměr kola (e)
- Střední průměr kola (m)
- Obvod (t)
- Normálová rovina (n)

Převodový poměr

1.cvičení

Výstupní moment	$M_{\text{výt}}$
Návrhový součinitel šroubu	k_s
Vnější rozt. kružnice pastorku	d_{e1}
Vnější rozt. kružnice kola	d_{e2}
Počet zubů pastorku	z_1
Počet zubů kola	z_2



Průměr roztečné kružnice

$$d = z \cdot m$$

Průměr hlavové kružnice

$$d_{ae} = d + 2h_a \cdot \cos \delta$$

Průměr patní kružnice

$$d_{fe} = d - 2h_f \cdot \cos \delta$$

Převodový poměr

$$i = u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2 \text{ (kolo)}}{z_1 \text{ (pastorek)}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{R_e \cdot \sin \delta_2}{R_e \cdot \sin \delta_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1}$$

Návrh postupu – výpočet modulu podľa Lewisa

- Výpočet únosnosti zubu v ohybu
- Zub – vetknutý nosník zatížený statickou silou
- Uvažuje sa jen ohybové namáhání zubu od obvodové síly
- Zkombinovat navrhnutý modul a rozměry ozubení a vybrat vhodnou variantu

Dovolené napětí v ohybu

Zatížení od obvodové síly

Lewisov součinitel

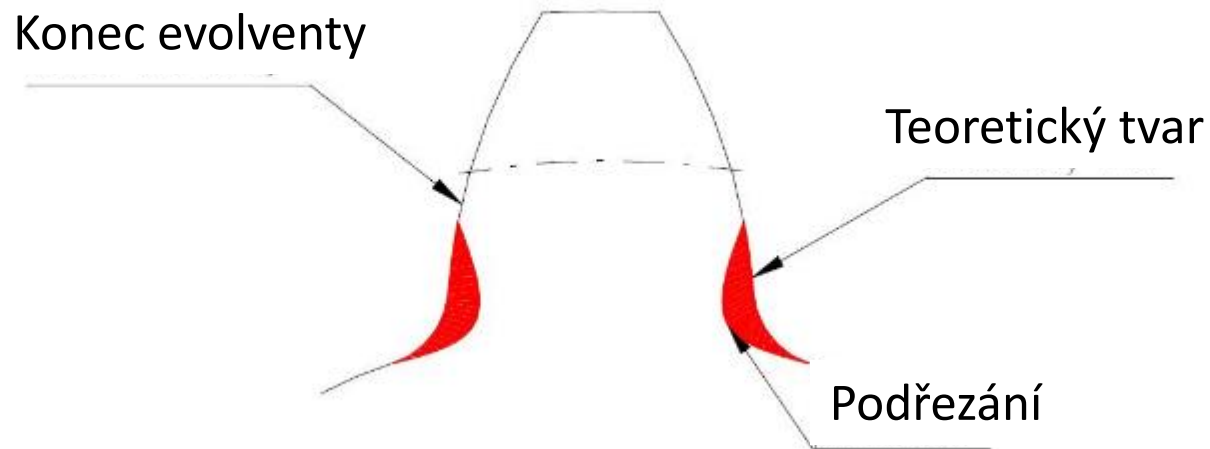
Šířka ozubení

Modul

$$\sigma_F = \frac{F_t}{bmY}$$

Minimální počet zubů na pastorku

- Zabránění vzniku podřezání zubu
- Maximální počet zubov 24



Teoretický mezní počet zubů

$$Z_{tmin} = \frac{2y}{\sin^2(\alpha)} \cos(\delta)$$

Annotations for the equation:

- 2y: Závislé na výšce zubu (volí se 1)
- $\sin^2(\alpha)$: Úhel záběru
- $\cos(\delta)$: Úhel roztečného kužele

KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ

Joseph E. SHIGLEY
Charles R. MISCHKE
Richard G. BUDYNAS

Děkuji za pozornost!

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

 **ústav
konstruování**