

# 6KT

## KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ - PŘEVODY

**Josef Frýza**

[fryza@fme.vutbr.cz](mailto:fryza@fme.vutbr.cz)

A2/403

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

2. cvičení



# Náplň druhého cvičení

Časový harmonogram	
T.	Část výpočtu
1.	Návrh počtu zubů a satelitů s ohledem na 1. a 2. doplňující geometrickou podmínku planetového mechanismu Určení dílčích převodových poměrů
2.	Návrh modulu ozubení Výpočet roztečných kružnic Návrh šířky ozubení Výpočet osové vzdálenosti Výpočet základních parametrů ozubení Kontrola vůle mezi satelity – 3. doplňující geometrická podmínka planetového mechanismu Výpočet součinitele a dráhy záběru Kontrola špičatosti zubu

Počet zubů a interference



**Volba vstupních parametrů ozubení**  
(modul, šířka ozubení, korekce)



**Základní rozměry ozubení**  
(rozteče, vůle, průměry)



**Kontrola vůle mezi satelity**



**Kontrola záběru a špičatosti zubů**

Kontrolní list		
T.	Parametr	
2.	Modul ozubení (normální)	$m_n$
	Šířka centrálního kola	$b_1$
	Šířka satelitu	$b_2$
	Šířka korunového kola	$b_3$
	Průměr patní kružnice korunového kola	$d_{f3}$
	Celkový součinitel záběru centrální kolo-satelit	$\epsilon_{\gamma 12}$
	Celkový součinitel záběru satelit-korunové kolo	$\epsilon_{\gamma 23}$
	Minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici	$s_{a\_min}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici centrálního kola	$s_{na1}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici korunového kola	$s_{na3}$

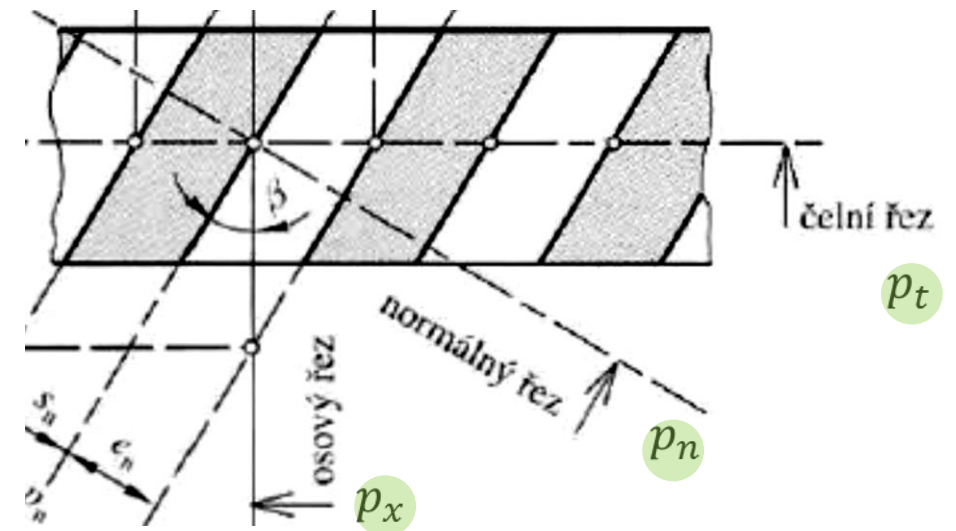
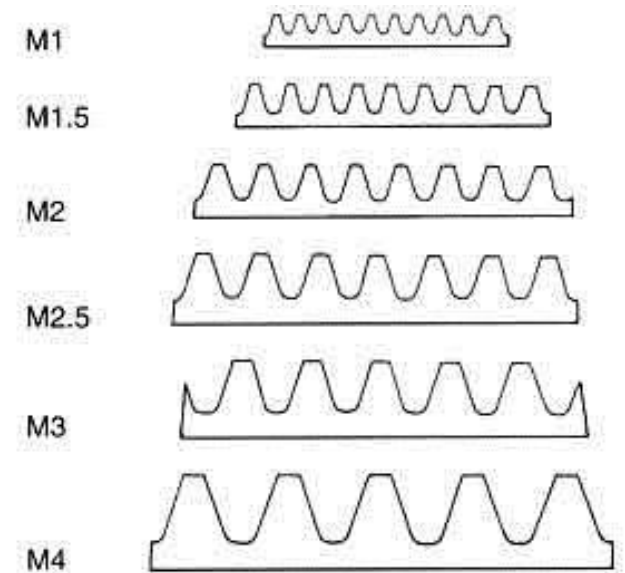
# Modul

Kontrolní list		
T.	Parametr	
2.	Modul ozubení (normální)	$m_n$
	Šířka centrálního kola	$b_1$
	Šířka satelitu	$b_2$
	Šířka korunového kola	$b_3$
	Průměr patní kružnice korunového kola	$d_{f3}$
	Celkový součinitel záběru centrální kolo-satelit	$\epsilon_{\gamma 12}$
	Celkový součinitel záběru satelit-korunové kolo	$\epsilon_{\gamma 23}$
	Minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici	$s_{a\_min}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici centrálního kola	$s_{na1}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici korunového kola	$s_{na3}$

- Normalizace ozubení (ekonomické požadavky)
- Základem výroby ozubení je ozubený hřeben
- Určuje všechny délkové rozměry ozubení
  - Odhad modulu dle pevnosti - Lewis (str. 781)
  - **Volit dle zástavbových možností startéru ( $D_{max}$ )**
- Definován jako:

$$m = p/\pi$$

$$m = d/z$$



Tab. 13-2

## modul $m$ (mm)

řada 1<sup>a</sup> 0,05; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 60; 80; 100

řada 2 0,055; 0,07; 0,09; 0,11; 0,14; 0,18; 0,22; 0,28; 0,35; 0,45; 0,55; 0,7; 0,9; 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7; 9; 11; 14; 18; 22; 28; 36; 45; 55; 70; 90

# Šířka ozubení

Kontrolní list		
T.	Parametr	
2.	Modul ozubení (normální)	$m_n$
	Šířka centrálního kola	$b_1$
	Šířka satelitu	$b_2$
	Šířka korunového kola	$b_3$
	Průměr patní kružnice korunového kola	$d_{f3}$
	Celkový součinitel záběru centrální kolo-satelit	$\epsilon_{\gamma 12}$
	Celkový součinitel záběru satelit-korunové kolo	$\epsilon_{\gamma 23}$
	Minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici	$s_{a\_min}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici centrálního kola	$s_{na1}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici korunového kola	$s_{na3}$

- Rozlišuje se, zda se jedná o pastorek či kolo

- Pastorky – dle tepelného zpracování

$$b = (0,8 \text{ až } 1,6) \cdot d$$

- Kola – dle součinitele poměrné šířky ozubení  $\psi$

- $\psi = 9 \text{ až } 14$

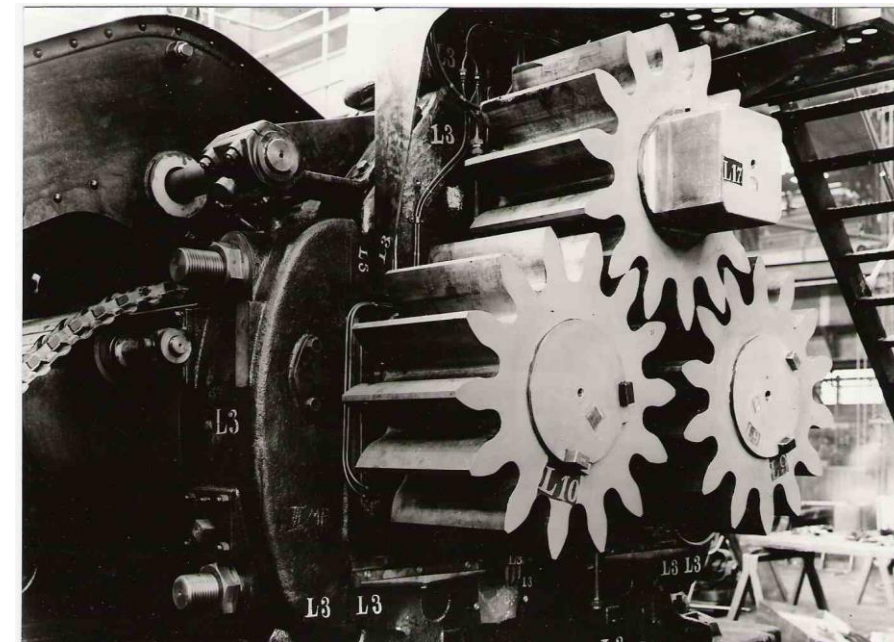
$$b = \psi \cdot m$$

- Spoluzabírající kola se liší v šířce ozubení!

- Ozubení kola většinou o 1-2 moduly užší, popř. sražení hran pastorku



	$(b/d_1)_{MAX}$
Obě kola normalizačně žíhaná	1,6
Obě kola zušlechťená	1,4
Pastorek povrchově tvrzený (mimo nitridace), kolo povrchově netvrzené	1,4
Obě kola povrchově tvrzená (mimo nitridace)	1,1
Obě kola nitridována	0,8



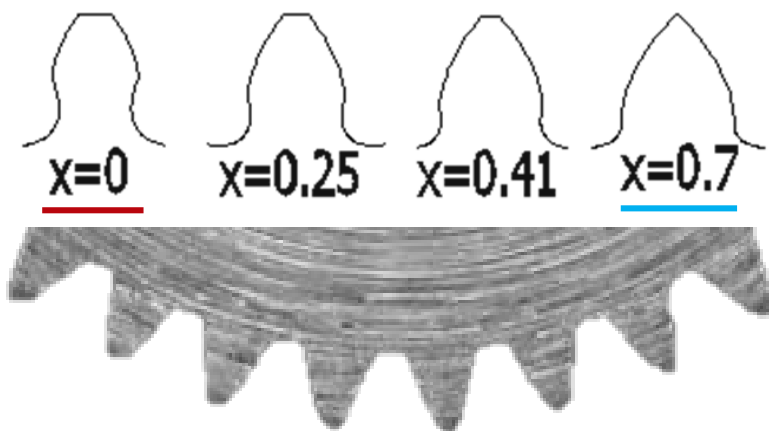
# Korigování ozubených kol

## Korekce ozubení

- Změna tvaru ozubení příznivě ovlivňující jeho geometrii a záběrové vlastnosti (změna výšky hlavy a paty zubu)
- Speciální nenormalizované nástroje (nákladné)
- Korekce posunutím profilu o jednotkové posunutí  $\pm x$
- Po korekci je průměr valivé kružnice  $d_w = d + m \cdot x$

podřezání

špičatost



## Důvody ke korekci

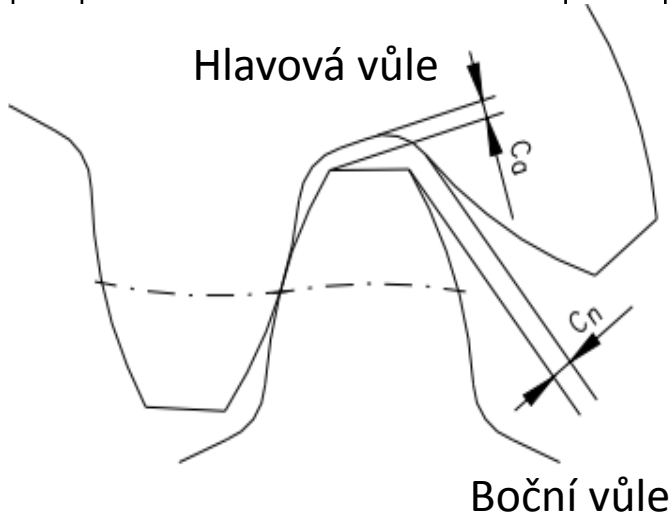
- Dosažení přesné osové vzdálenosti  $a = \frac{d_1 + d_2}{2}$
- Snížení min. počtu zubů (ceny)
- Zlepšení součinitele záběru
- Zlepšení únosnosti ozubení (dotyk, ohyb, zadírání, opotřebení)
- Zabránění podřezání nebo špičatosti zubu
- Zabránění vzniku výrobních a provozních interferencí zubů
- Snížení hlučnosti a vibrací ozubení
- Zlepšení účinnosti

## Nekorigované ozubení

$$x = 0$$

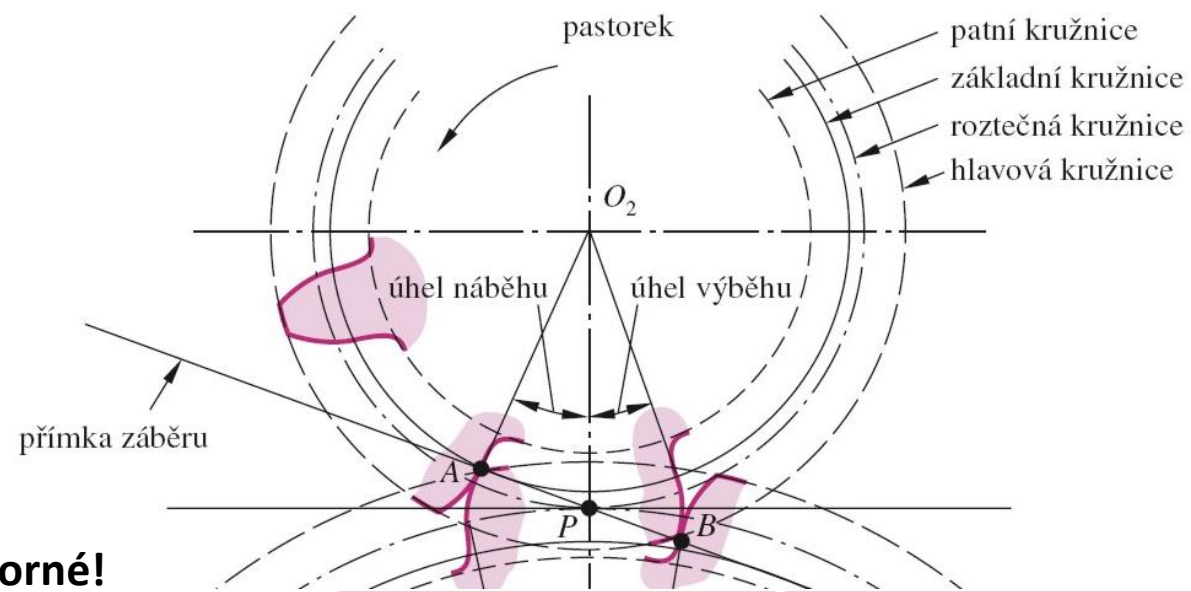
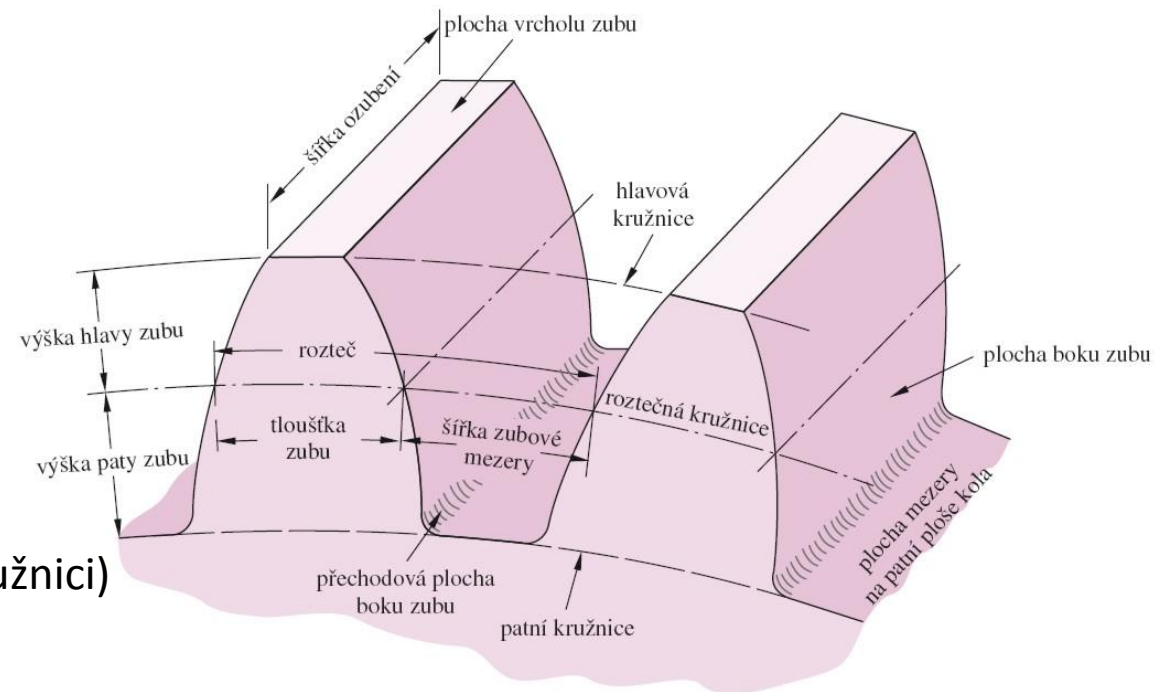
# Základní rozměry ozubení

Kontrolní list		
T.	Parametr	
2.	Modul ozubení (normální)	$m_n$
	Šířka centrálního kola	$b_1$
	Šířka satelitu	$b_2$
	Šířka korunového kola	$b_3$
	Průměr patní kružnice korunového kola	$d_{f3}$



- Výška hlavy zuby
- Výška paty zuby
- Výška zuby
- Hlavová vůle
- Rozteč
- Tloušťka zuby (na roztečné kružnici)
- Šířka zubové mezery
- Poloměr zaoblení přechodů
- Průměr roztečné kružnice
- Průměr hlavové kružnice
- Průměr patní kružnice
- Průměr základní kružnice
- Průměr valivé kružnice
- Základní rozteč

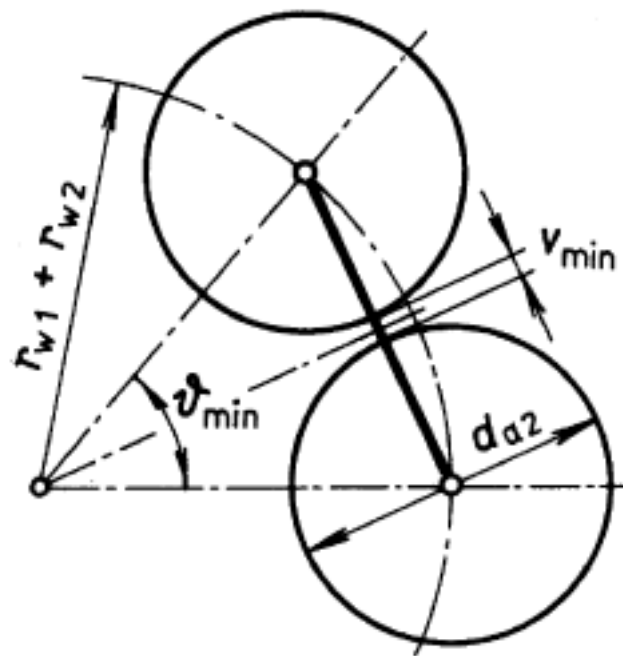
**Průměry vnitřního ozubení jsou záporné!**



# Kontrola vůle mezi satelity

Kontrolní list		
T.	Parametr	
2.	Modul ozubení (normální)	$m_n$
	Šířka centrálního kola	$b_1$
	Šířka satelitu	$b_2$
	Šířka korunového kola	$b_3$
	Průměr patní kružnice korunového kola	$d_{f3}$
	Celkový součinitel záběru centrální kolo-satelit	$\epsilon_{\gamma 12}$
	Celkový součinitel záběru satelit-korunové kolo	$\epsilon_{\gamma 23}$
	Minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici	$s_{a\_min}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici centrálního kola	$s_{na1}$
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici korunového kola	$s_{na3}$

- 3. geometrická podmínka planetového mechanismu
- Minimální vůle mezi satelity se volí 1 až 2 mm



$$\theta = \frac{360^\circ}{a_K} \geq \theta_{\min}$$

$$\theta_{\min} = 2 \operatorname{asin} \left( \frac{d_{a2} + v_{\min}}{d_{w1} + d_{w2}} \right)$$

# Součinitel záběru

Kontrolní list		
T.	Parametr	
2.	Modul ozubení (normální)	$m_n$
	Šířka centrálního kola	$b_1$
	Šířka satelitu	$b_2$
	Šířka korunového kola	$b_3$
	Průměr patní kružnice korunového kola	$d_{f3}$
	Celkový součinitel záběru centrální kolo-satelit	$\epsilon_{\gamma 12}$
	Celkový součinitel záběru satelit-korunové kolo	$\epsilon_{\gamma 23}$

**Celkový součinitel záběru**  $\epsilon_{\gamma} = \epsilon_{\alpha} + \epsilon_{\beta}$

- udává průměrný počet párů zubů v záběru
- trvání záběru má vliv na rozložení sil v ozubení, únavu, hlučnost a plynulost chodu

**Součinitel záběru kroku**  $\epsilon_{\beta} = 0$  (přímé ozubení)

**Součinitel záběru profilu v čelní rovině**

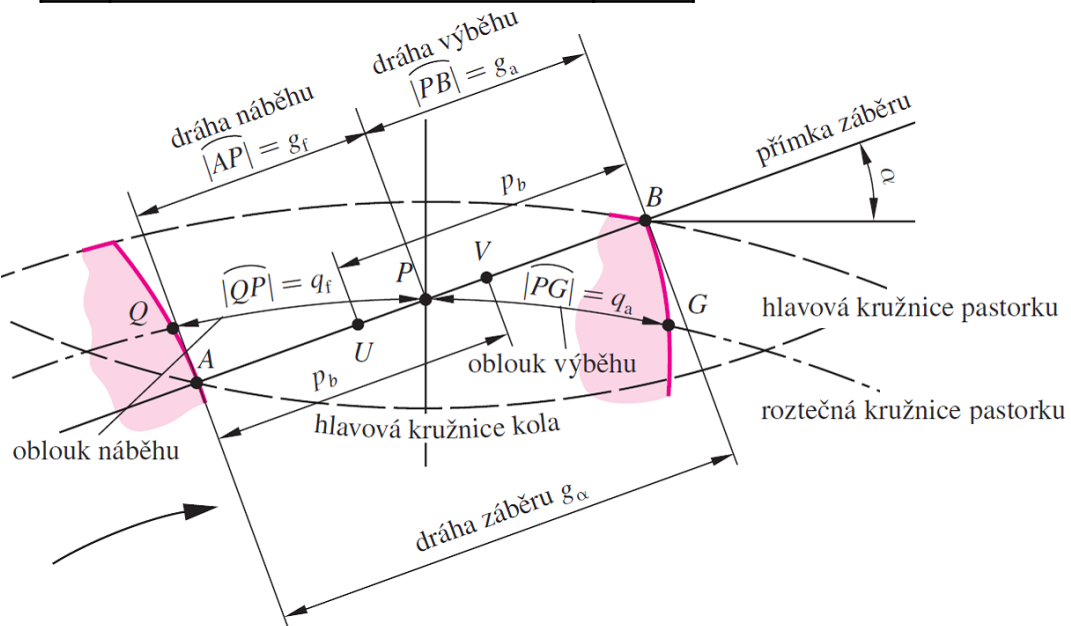
- soukolí s vnějším ozubením

$$\epsilon_{\alpha 12} := \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2 \cdot a_{12} \cdot \sin(\alpha)}{2 \cdot p_b}$$

- soukolí s vnitřním ozubením (**podklady**)

$$\epsilon_{\alpha 23} = \frac{z_2}{2\pi} \cdot \left[ \tan \left( \arccos \left( \frac{d_{b2}}{d_{a2}} \right) \right) - \tan(\alpha) \right] - \frac{|z_3|}{z_2} \cdot \left[ \tan \left( \arccos \left( \frac{d_{b3}}{d_{a3}} \right) \right) - \tan(\alpha) \right]$$

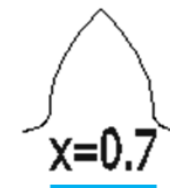
**Dráha záběru**  $g_{\alpha} = \epsilon_{\alpha} \cdot p_b$





# Kontrola špičatosti zubu (podklady)

špičatost



Kontrolní list	
T.	Parametr
2.	Minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici centrálního kola
	Tloušťka zubu na hlavové kružnici korunového kola

## Špičatost zubů – mez špičatosti

- Nastává pokud se plochy boku zubu setkají na hlavové kružnici nebo pod ní
- Nežádoucí – snížení výšky zubu a nebezpečí lomu zubu v jeho horní části
- Je potřebná minimální tloušťka zubu na hlavové kružnici  $s_{a\_min}$ :

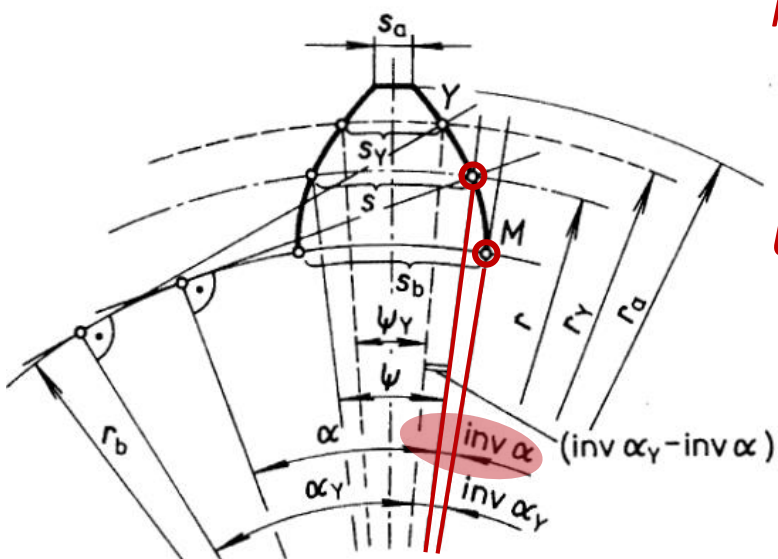
- Pro tvrdá kola  $s_{a\_min} = 0.4 \cdot m_n$
- Pro měkká kola  $s_{a\_min} = 0.25 \cdot m_n$

Involuta úhlu  $\alpha$   $\text{inv}_\alpha = \tan(\alpha) - \alpha$  [°] [°] [rad]

- Polární úhel mezi společným bodem evolventy (boku zubu) a základní kružnice a společným bodem evolventy a roztečné kružnice (zde je šířka zubu známá)

## Určení šířky zubu na hlavové kružnici

- Úhel profilu evolventy na hlavové kružnici:  $\alpha_a = \arccos\left(\frac{d_b}{d_a}\right)$
- Involuta úhlu pro bod na hlavové kružnici:  $\text{inv}_{\alpha_a} = \tan(\alpha_a) - \alpha_a$
- Tloušťka zubu na hlavové kružnici:  $s_{na} = d_a \cdot \left[ \frac{\pi}{2 \cdot z} + \frac{2 \cdot x \cdot \tan(\alpha)}{z} + (\text{inv}_\alpha - \text{inv}_{\alpha_a}) \right]$



## Kontrola špičatosti zubu

$s_{na} \geq s_{a\_min}$  ke špičatosti nedojde

Děkuji vám za pozornost

**Josef Frýza**

[fryza@fme.vutbr.cz](mailto:fryza@fme.vutbr.cz)

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