

POLITEHNIKA PULA  
Visoka tehničko-poslovna škola u Puli s p.j.

Konstruktivske vježbe iz kolegija  
**KONSTRUKCIJE**

**1 – STUPANJSKI REDUKTOR**

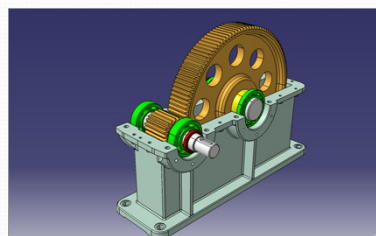
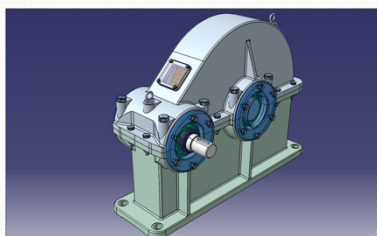
Ak. god. 2016/2017

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

1

**Projektni zadatak**

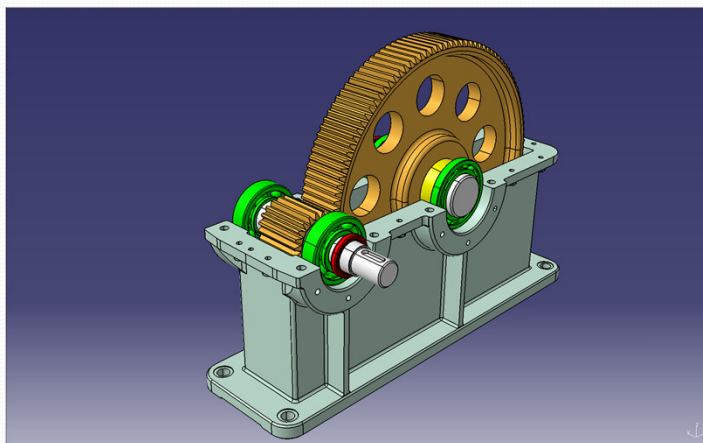
- ☐ Prema predlošku i zadanim pogonskim podacima proračunati i konstruirati 1-stupanjski reduktor s cilindričnim zupčanicima s ravnim zubima.



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

2

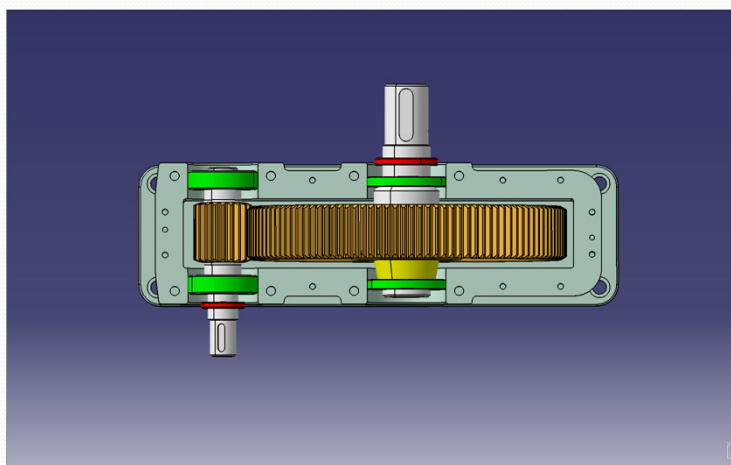
## 1-stupanjski reduktor



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

3

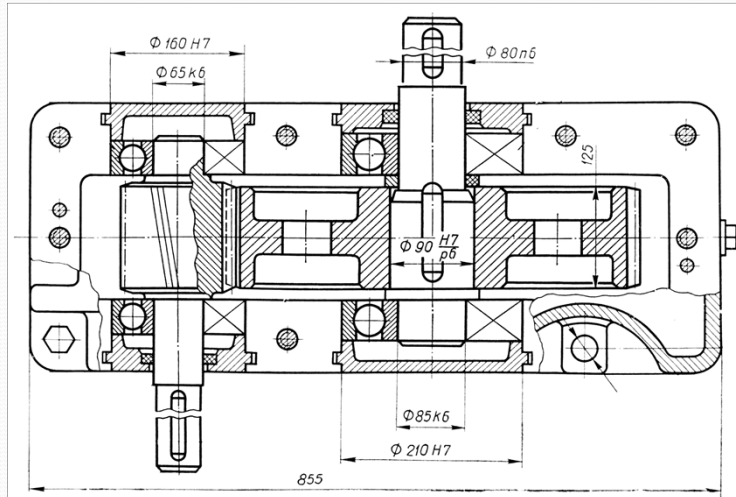
## 1-stupanjski reduktor



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

4

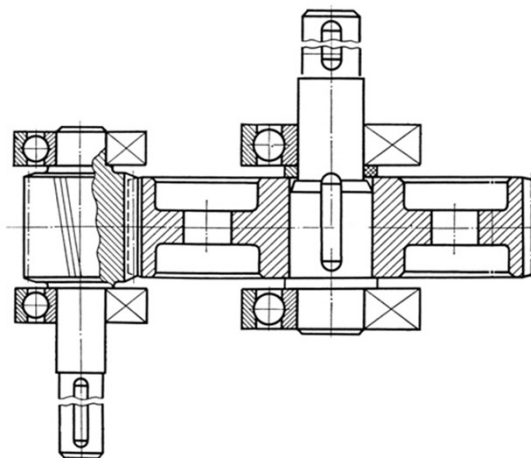
## 1-stupanjski reduktor – predložak br.1



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

5

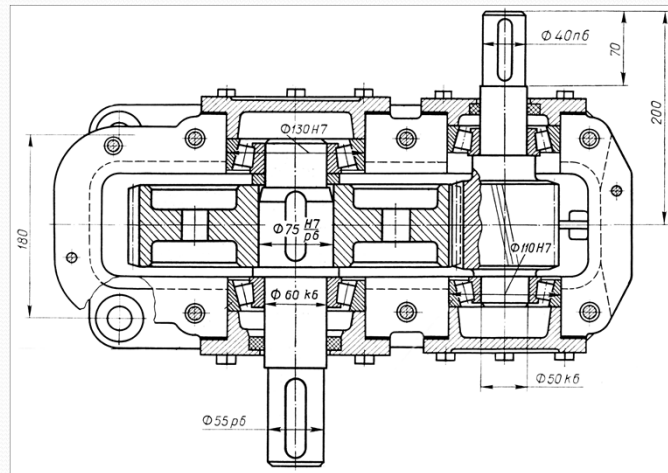
## 1-stupanjski reduktor – predložak br.1



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

6

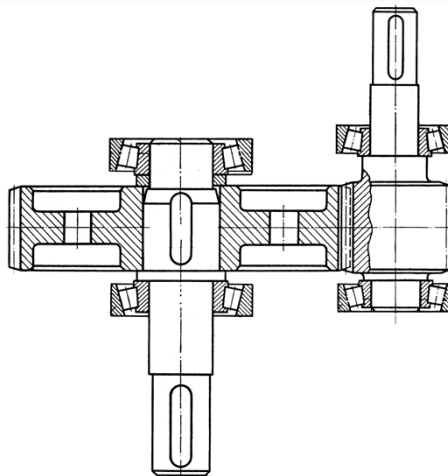
## 1-stupanjski reduktor – predložak br.2



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

7

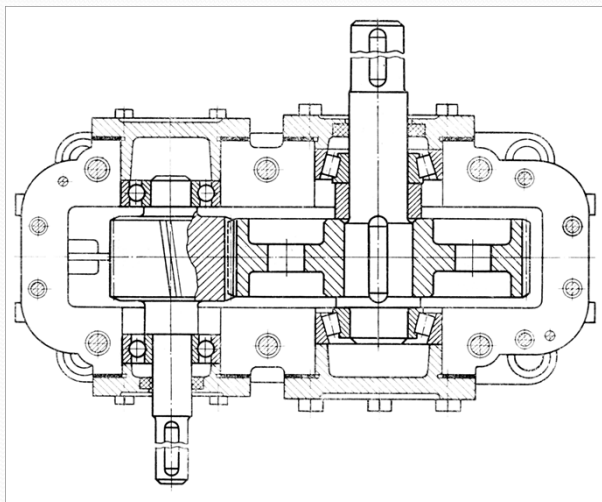
## 1-stupanjski reduktor – predložak br.2



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

8

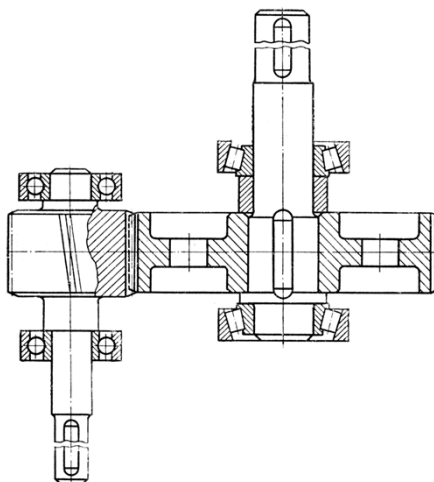
## 1-stupanjski reduktor – predložak br.3



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

9

## 1-stupanjski reduktor – predložak br.3



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

10



## 1-stupanjski reduktor – pogonski podaci

Ulazni podaci za proračun:

- ☐ Tip pogonskog stroja
- ☐ Tip radnog stroja
- ☐ Ulazna snaga [kW]
- ☐ Broj okretaja pogonskog stroja [min<sup>-1</sup>]
- ☐ Prijenosni omjer
- ☐ Materijal zupčanika i vratila
- ☐ Minimalna potrebna trajnost ležaja [h]

## 1-stupanjski reduktor – plan rada



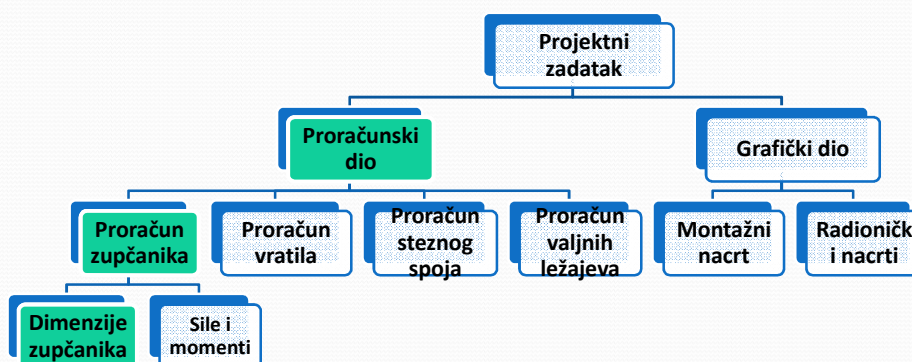
## 1-stupanjski reduktor – proračunski dio

Uvedeno pojednostavljenje:

☐ Zanimaju se sljedeći dijelovi proračuna:

- kontrolni proračun
- izbor ulja za podmazivanje
- toplinski proračun
- određivanje stupnja korisnosti

## 1-stupanjski reduktor – proračun



## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ U prvom koraku primjenom projektnog proračuna određujemo osnovne dimenzije reduktora-zupčanika
- ❑ S obzirom da se koriste brojna pojednostavljenja i pretpostavke, proračun je orijentacijskog karaktera.
- ❑ Nakon usvajanja osnovnih dimenzija primjenom projektnog proračuna, nužan je kontrolni proračun kojim kontroliramo :
  - nosivost boka zuba
  - sigurnost na pitting (površinski zamor)
  - nosivost korijena zuba

**OVAJ DIO PRORAČUNA ZANEMARUJEMO !**

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left( \frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}} \right)^2}$$

- $\Psi_b$
- omjer širine zupčanika i diobenog promjera
  - ovisi o načinu uležištenja vratila zupčanika
  - ovisi o materijalu zupčanika (toplinska obrada)
  - u rasponu 0.2 - 1.6
  - za projektni zadatak uzeti  $\Psi_b = 1$



## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left(\frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}}\right)^2}$$

$P_1$  – snaga pogonskog stroja [kW]

$n_1$  – broj okretaja pogonskog stroja [s-1]

$i_z$  – prijenosni omjer

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

17

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left(\frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}}\right)^2}$$

$K_A$  – faktor primjene

- ovisi o kombinaciji pogonskog i radnog stroja
- očitati iz priložene tablice

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

18

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left(\frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}}\right)^2}$$

$K_V$  - faktor dodatnih dinamičkih opterećenja

- ovisi o kvaliteti ozubljenja
- ovisi o obodnoj brzini i vibracijama
- u fazi dimenzioniranja može se uzeti  $K_V=1$

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left(\frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}}\right)^2}$$

$K_{H\alpha}$  - faktor raspodjele opterećenja na zube koji su istovremeno u zahvatu

- za projektni proračun uzeti  $K_{H\alpha}=1$

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left(\frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}}\right)^2}$$

- $K_{H\beta}$  - faktor raspodjele opterećenja uzduž boka zuba
- zbog netočnosti izrade i deformacije zubi nisu potpuno paralelni i nisu jednako opterećeni po dužini
  - ovisi o vrsti uležištenja i materijalu zupčanika
  - $K_{H\beta} = 1$  – približno ! (u rasponu od 1.01-1.48)

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

21

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left(\frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}}\right)^2}$$

- $S_{H\min}$  - stupanj sigurnosti na površinski zamor (pitting)
- u rasponu od 1 – 1.5
  - za projektni proračun uzeti  $S_{H\min} = 1.3$

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

22

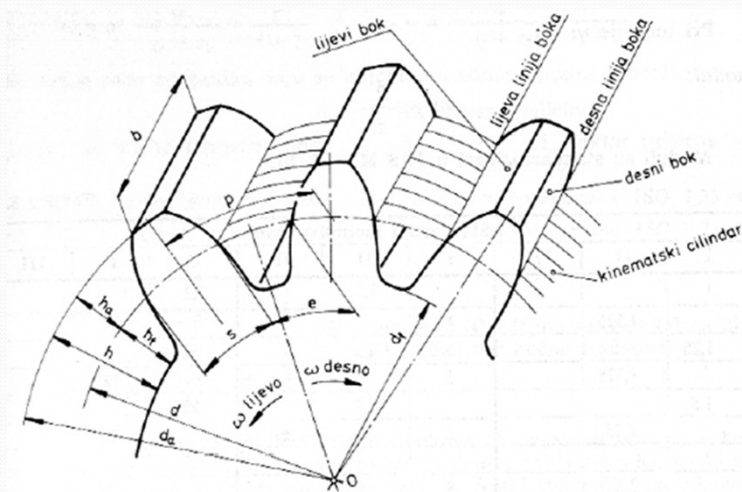
## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Na temelju poznatih pogonskih podataka primjenom sljedeće formule određujemo približni diobeni promjer pogonskog zupčanika.

$$d_1' \geq 4045 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_1}{\Psi_b \cdot n_1} \cdot \frac{i_z + 1}{i_z} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot \left( \frac{S_{H\min}}{\sigma_{H\lim}} \right)^2}$$

$\sigma_{H\lim}$  - trajna dinamička čvrstoća boka zuba na kontaktna naprezanja  
- očitati iz tablice za definirani materijal

## Proračun dimenzija zupčanika





## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Kutna brzina pogonskog zupčanika :

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60} \quad n_1 \text{ (min}^{-1}\text{)}, \omega \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

- ❑ Obodna brzina pogonskog zupčanika :

$$v'_1 = \frac{d'_1}{2} \cdot \omega_1 \quad d'_1 \text{ (m)}, v'_1 \text{ (ms}^{-1}\text{)}$$

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Izbor broja zubi pogonskog zupčanika :
- ovisi o prijenosnom omjeru, materijalu zupčanika, vrsti toplinske obrade, te o brzini vrtnje.
  - odabrati prema vrijednosti obodne brzine :

(m/s)	$z_1$
< 1	17...20
1...5	18...22
> 5	20...25

## Proračun dimenzija zupčanika

- ☐ Broj zubi gonjenog zupčanika :

$$z_2 = z_1 \cdot i_z$$

- ☐ Prijenosni omjer:

$$i_{stv} = \frac{z_2}{z_1}$$

- ☐ Normalni modul :

- modul je osnovna mjera veličine zuba
- standardiziran je zbog proračuna i izrade zupčanika (manji broj alata)

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

27

## Proračun dimenzija zupčanika

- ☐ Normalni modul :

$$m'_n = \frac{d'_1}{z_1} \quad m'_n \text{ (mm)}, d'_1 \text{ (mm)}$$

- zaokružiti na standardnu vrijednost modula (Podaci u tablici)

- ☐ Nagib zuba  $\beta$  :

- za ravne zube  $\beta=0^\circ$

- ☐ Razmak osi zupčanika :

$$a = \frac{m_n}{2 \cdot \cos \beta} (z_1 + z_2) \quad m_n \text{ (mm)}, a \text{ (mm)}$$

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

28

## Proračun dimenzija zupčanika

- ☐ Stvarni diobeni promjer pogonskog zupčanika :

$$d_1 = m_n \cdot z_1$$

- ☐ Širina gonjenog zupčanika :

$$b_2 = \Psi_b \cdot d_1 \quad b_2 \text{ (mm)}, d_1 \text{ (mm)}$$

$$\Psi_b \cong 0,8 \dots 1,2$$

- dobivenu vrijednost zaokružiti na cijeli broj

- ☐ Širina pogonskog zupčanika :

$$b_1 = b_2 + 5 \text{ mm}$$

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

29

## Proračun dimenzija zupčanika

- ☐ Stvarni diobeni promjer gonjenog zupčanika :

$$d_2 = m_n \cdot z_2$$

- ☐ Zahvatni kut  $\alpha_n$  :

- standardizirano. Odabrati  $\alpha_n = 20^\circ$

- ☐ Radijalna zračnost :

$$c = c^* \cdot m_n$$

-  $c^* = 0,25$  – koeficijent radijalne zračnosti. Standardizirano.

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

30

## Proračun dimenzija zupčanika

- ❑ Visina korijena zuba :

$$h_f = m + c \text{ [mm]}$$

- ❑ Promjeri preko korijena zuba zupčanika :

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot h_f$$

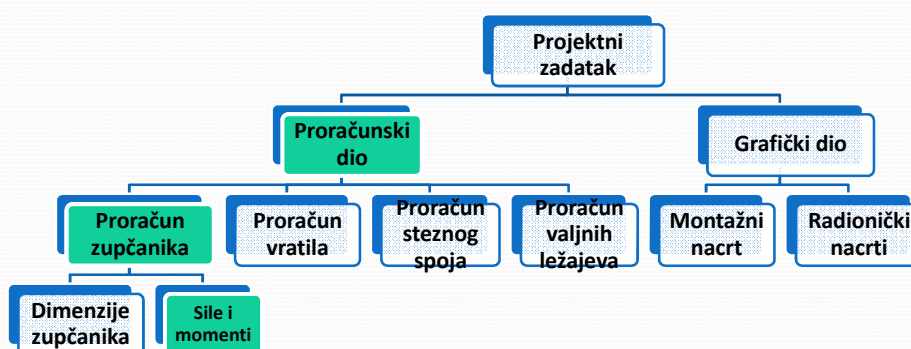
$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_f$$

- ❑ Promjeri preko glave zuba zupčanika :

$$d_{a1} = 2 \cdot a - d_{f2} - 2 \cdot c$$

$$d_{a2} = 2 \cdot a - d_{f1} - 2 \cdot c$$

## 1-stupanjski reduktor – proračun





## Proračun sila i momenata na zupčanicima

- ❑ Okretni moment na ulaznom vratilu :

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} \quad T_1 \text{ (Nm)}, P_1 \text{ (W)}, \omega_1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

- ❑ Izlazna snaga :

$$P_2 = P_1 \cdot \eta \quad P_1 \text{ (W)}, P_2 \text{ (W)}$$

$$\eta = \eta_z \cdot \eta_L \cdot \eta_B$$

gdje je:

$\eta$  – ukupni stupanj iskoristivosti

$\eta_z$  – stupanj iskoristivosti ozubljenja ( $\approx 0,99$ )

$\eta_L$  – stupanj iskoristivosti ležajeva ( $\approx 0,98$ )

$\eta_B$  – stupanj iskoristivosti na brtvama i rasprskivanja ulja ( $\approx 0,98$ )

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

33

## Proračun sila i momenata na zupčanicima

- ❑ Izlazna brzina vrtnje :

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{stv}} \quad n_1, n_2 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

- ❑ Izlazna kutna brzina :

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_{stv}} \quad \omega_1, \omega_2 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

- ❑ Okretni moment na izlaznom vratilu :

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} \quad T_2 \text{ (Nm)}, P_2 \text{ (W)}, \omega_2 \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

34

## Proračun sila i momenata na zupčanicima

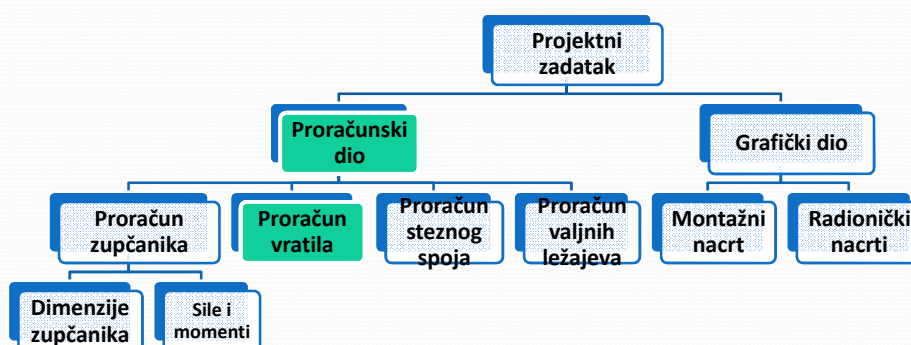
- ❑ Obodna sila na zupčanicima :

$$F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} \quad F_t \text{ (N)}, T_1 \text{ (Nm)}, d_1 \text{ (m)}$$

- ❑ Radijalna sila na zupčanicima :

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha \quad F_t, F_r \text{ (N)}$$

## 1-stupanjski reduktor – proračun



## Proračun vratila

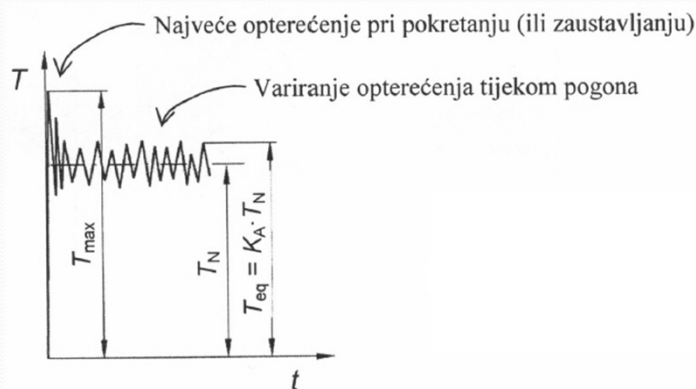
- ☐ Ulazni podaci :
  - okretni moment na ulaznom vratilu  $T_1$  [Nm]
  - okretni moment na izlaznom vratilu  $T_2$  [Nm]
  - obodna sila na zupčanicima  $F_t$  [N]
  - radijalna sila na zupčanicima  $F_r$  [N]
- ☐ Predhodni ulazni podaci se dobivaju na temelju proračuna dimenzija zupčanika.
- ☐ 1. Korak – Približni (preliminarni) proračun vratila  
 2. Korak – Oblikovanje vratila  
 3. Korak – Kontrolni proračun

## Proračun vratila – preliminarni proračun

- ☐ S obzirom da vratila prenose okretni (torzijski) moment proizašao iz prenošenja snage, dovoljno je u preliminarnom proračunu odrediti minimalni promjer vratila u odnosu na naprezanje na torziju.
- ☐ Kako se u prvom koraku zanemaruju naprezanja uzrokovana momentom savijanja, mora se računati sa velikim faktorom sigurnosti. Osim toga, nije poznat konačan oblik vratila (pov. obrada, koncentracija naprezanja, itd.).
- ☐ Vratila su dinamički opterećeni elementi. Dopusšteno naprezanje se određuje u odnosu na dinamičku čvrstoću materijala.

## Proračun vratila – preliminarni proračun

- ❑ Ekvivalentni okretni (torzijski) moment :



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

39

## Proračun vratila – preliminarni proračun

- ❑ Najmanji promjer vratila :

$$d_{\text{pr}} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{\text{eq}}}{\pi \cdot \tau_{\text{tdop}}}} \quad (\text{mm})$$

- ❑ Dopušteno naprezanje na torziju :

$$\tau_{\text{tdop}} = \frac{R_{\text{dt0}}}{S}$$

- $R_{\text{dt0}}$  - trajna dinamička čvrstoća na torziju za ishodišno opterećenje (iz tablice)
- $S$  - faktor sigurnosti (10-15)

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

40



## Proračun vratila – preliminarni proračun

- ☐ Prema normi DIN 748 izabrati prvi veći standardni promjer rukavca (vratila)  $d_v$  [mm].
- ☐ U odnosu na promjer rukavca izvršiti dimenzioniranje vratila.

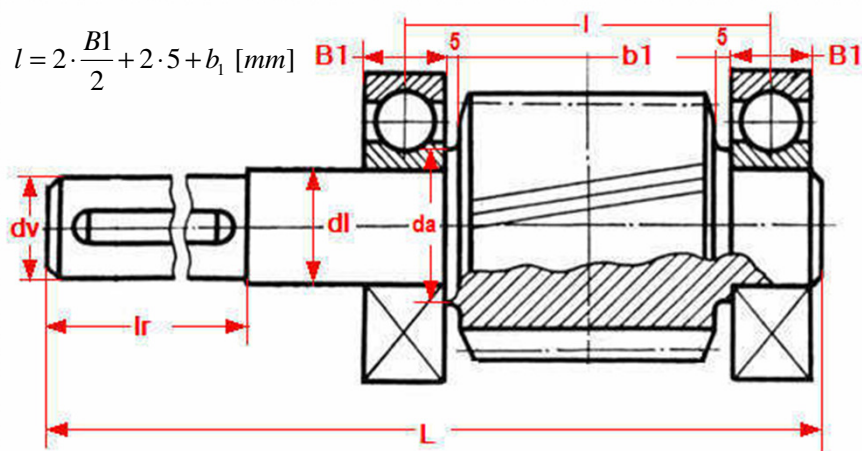
Promjer na poziciji ležaja :  $d_L = d_v + 5$  [mm]

Prema potrebi, promjer na poziciji ležaja  $d_L$  se prilagođava na način da odgovara standardnim dimenzijama valjnih ležajeva (unutarnji promjer ležaja  $d$ ). Promjer na poziciji između ležaja i zupčanika  $d_a$  definiran je veličinom odabranog valjnog ležaja. (prema podacima iz kataloga proizvođača ležajeva, npr. [www.skf.com](http://www.skf.com)).

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

41

## Proračun vratila – preliminarni proračun



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

42

## Proračun vratila – preliminarni proračun

- ❑ Prema normi DIN 748 za odabrani promjer rukavca  $d_v$  definirati duljinu rukavca  $l_r$ .
- ❑ Prema normi DIN 6885 odabrati uložno pero (oblik A). Duljina uložnog pera je određena duljinom rukavca  $l_r$ .

$$\text{Npr. } l_p = l_r - 10 \text{ [mm]}$$

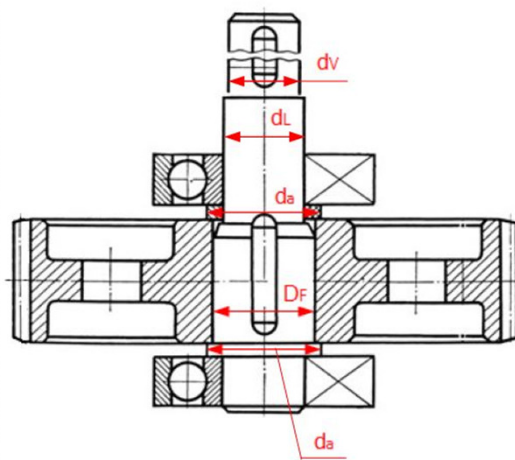
- ❑ Sve ostale dimenzije koje nisu dobivene proračunom su određene prema predlošku dobivenom uz projektni zadatak.
- ❑ Prethodno prikazanim postupkom napraviti preliminarni proračun za pogonsko i gonjeno vratilo.

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

43

## Proračun vratila – preliminarni proračun

- ❑ Kod gonjenog vratila, u odnosu na promjer na poziciji ležaja  $d_L$  i promjera  $d_a$  odrediti promjer cilindrične stezne površine  $D_F$ .



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

44

## Proračun vratila – kontrolni proračun

- ❑ Na već izvedenom i potpuno oblikovanom elementu (osovini/vratilu) izrađenom iz usvojenog materijala izvode se dvije vrste kontrola :
  - Kontrola na plastičnu deformaciju
  - Kontrola na mogući lom (zamor materijala)
- ❑ **U okviru projektnog zadatka radi se samo kontrola na plastičnu deformaciju prema normi DIN 743.**

## Proračun vratila – kontrolni proračun

- ❑ Kontrolom na plastičnu deformaciju računa se koliko je puta granica tečenja  $R_e$  ili  $R_{p0.2}$  veća od najvećeg naprezanja.
- ❑ Najveća naprezanja se javljaju kao posljedica najvećih opterećenja  $M_{S\max}$ ,  $F_{a\max}$ ,  $T_{\max}$ .
- ❑ Faktor sigurnosti protiv plastične deformacije :

$$S_p = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{s\max}}{R_{es}} + \frac{\sigma_{v,tl\max}}{R_e}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{t\max}}{R_{et}}\right)^2}}$$



## Proračun vratila – kontrolni proračun

- ☐ Faktor sigurnosti protiv plastične deformacije:

$$S_p \geq 1.2$$

- ☐ Stvarna granica tečenja :

$$R_e = K_t \cdot R_{eN} [N/mm^2]$$

$$R_{es} = K_t \cdot R_{esN} [N/mm^2]$$

$$R_{et} = K_t \cdot R_{etN} [N/mm^2]$$

☐ Nazivne vrijednosti granice tečenja (očitati iz priložene tablice).

- ☐ Tehnološki faktor  $K_t$  uzima u obzir da se s porastom promjera vratila smanjuje granica tečenja zbog nehomogenosti materijala. Za odabrani materijal vratila vrijednost  $K_t$  očitati iz priloženog dijagrama.

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

47

## Proračun vratila – kontrolni proračun

- ☐ Nazivne vrijednosti granice tečenja:

Namjena	OZNAKA ČELIKA				Karakteristike materijala pri statičkom opterećenju $N/mm^2$ (min.)				Dinamička čvrstoća $N/mm^2$			
	ISO	DIN	HRN	W. Nr.	Vlačna čvrstoća $R_m$	Granica plastičnosti (tečenja) $R_{p0.2}$	Savijanje $R_{p0.01}$	Torzija $R_{p0.05}$	Vlak - tlak $R_{mN}$	Savijanje $R_{mN}$	Torzija $R_{mN}$	Torzija $R_{mN}$
Konstr. čelik, toplj. valjan, DIN EN 10025	S235JR	St 37-2	Č0370	1.0037	360	235	280	160	140	225	180	105
	S275JR	St 44-2	Č0451	1.0044	430	275	330	190	170	270	215	125
	S355JR	St 52-2	Č0561	1.0045	510	355	425	245	205	325	255	150
	E295	St 50-2	Č0545	1.0050	490	295	355	205	195	295	245	145
	E355	St 60-2	Č0645	1.0060	590	355	400	230	235	335	290	180
	E360	St 70-2	Č0745	1.0070	690	360	430	250	275	360	345	205
	S275N	StE 285	ČRO280	1.0400	370	275	330	190	150	240	185	110
	S355N	StE 355	ČRO355	1.0545	470	355	425	245	190	305	235	140
	S460N	StE 460	ČRO460	1.8902	520	420	505	290	210	335	260	155
	S460N	StE 460	ČRO460	1.8901	550	460	550	320	220	350	275	165
Čelik za pobiljevanje, u pob. (COT), DIN EN 10083-1	C22E	Čk 22	Č1331	1.1151	500	340	410	235	200	320	250	150
	C35E	Čk 35	Č1431	1.1181	630	430	515	300	250	400	315	190
	C45E	Čk 45	Č1531	1.1191	700	490	590	340	280	450	350	210
	C60E	Čk 60	Č1731	1.1221	850	580	695	400	340	545	425	250
	34Cr4	34Cr4	Č4130	1.7033	900	700	840	485	360	575	450	270
	41Cr4	41Cr4	Č4131	1.7035	1000	800	960	550	400	640	500	300
	28CrMo4	28CrMo4	Č4780	1.7218	900	700	840	485	360	575	450	270
	34CrMo4	34CrMo4	Č4731	1.7220	1000	800	960	555	400	640	500	300
	42CrMo4	42CrMo4	Č4732	1.7225	1100	900	1080	625	440	705	550	330
	30CrNiMo8	30CrNiMo8	ČS432	1.6580	1250	1050	1260	720	500	800	625	375
Čelik za cement. DIN EN 10084	S10Cr4	S10Cr4	—	1.8159	1100	900	1080	625	440	705	550	330
	C10	Č10	Č1120	1.0301	650	380	455	265	240	380	325	195
	C15	Č15	Č1220	1.0401	750	430	515	300	300	430	375	225
	17Cr3	17Cr3	Č4120	1.7016	1050	750	900	520	420	670	525	315
	18MnCr5	18MnCr5	Č4320	1.7131	900	630	755	435	360	575	450	270
	15CrNi6	15CrNi6	ČS420	1.5919	1000	680	815	470	400	640	500	300
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

OPASKA: Vrijednosti dane u tabeli odnose se na nazivni promjer  $d_N = 16$  mm. Stoga imaju dodatni indeks.

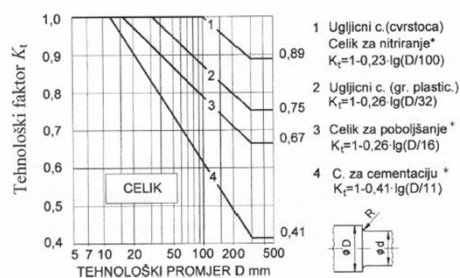
Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

48



## Proračun vratila – kontrolni proračun

### ☐ Tehnološki faktor $K_t$ :



Slika 1  $K_t$  – tehnološki faktor za čelik

\* Kod čelika za nitriranje, poboljšanje i cementaciju je faktor  $K_t$  za čvrstoću i granicu plastičnosti jednak!  
Za čelik za cementaciju koji sadrži Cr-Ni-Mo uzeti vrijednost faktora  $K_t$  za čelik za poboljšanje (kriv. 3).

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

49

## Proračun vratila – kontrolni proračun

### ☐ Maksimalna opterećenja :

$$T_{\max} = 3 \cdot T_N$$

$$M_{s \max} = 3 \cdot M_{sN}$$

### ☐ Maksimalna naprezanja

$$\sigma_{s \max} = \frac{M_{s \max}}{W} \quad [N/mm^2]$$

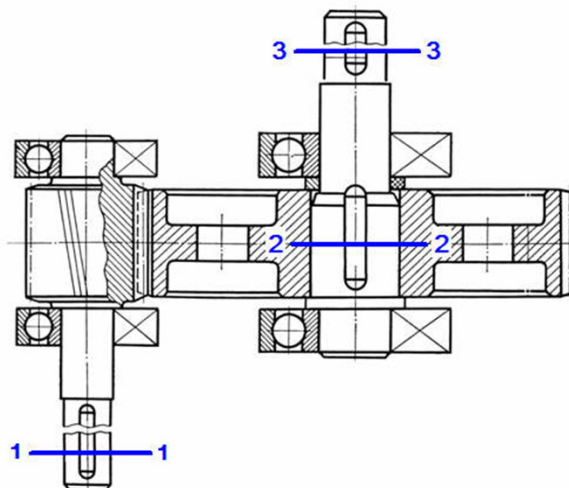
$$\tau_{t \max} = \frac{T_{\max}}{W_t} \quad [N/mm^2]$$

### ☐ Kontrola na plastičnu deformaciju se radi u procenjenim kritičnim presjecima.

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

50

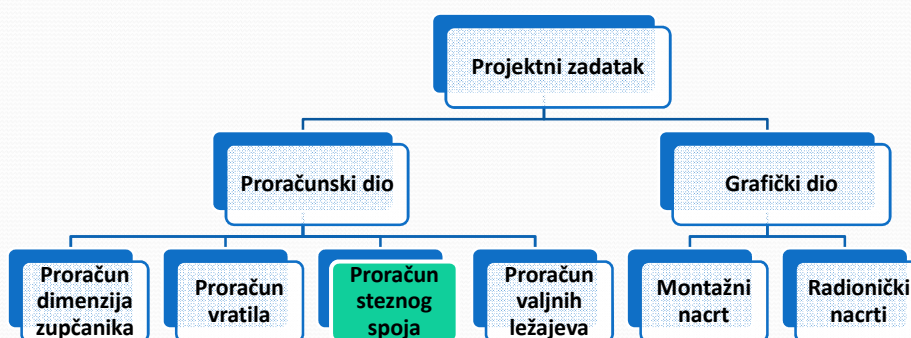
## Proračun vratila – kontrolni proračun



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

51

## 1-stupanjski reduktor – proračun



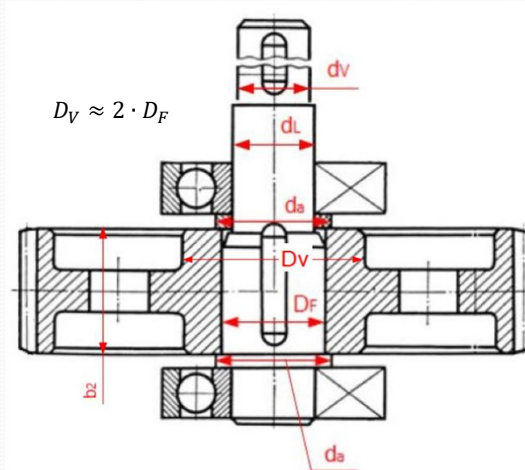
Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

52

## Proračun cilindričnog steznog spoja

- ❑ Poprečni cilindrični stezni spoj.
- ❑ Duljina cilindrične stezne površine  $l_f$  biti će približno jednaka širini glavine gonjenog zupčanika odnosno širini gonjenog zupčanika  $b_2$

$$l_f = b_2$$



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

53

## Proračun cilindričnog steznog spoja

- ❑ Dodirna površina:

$$A_F = D_F \cdot \pi \cdot l_f \quad D_F [mm], l_f [mm]$$

- ❑ Potrebna sila trenja:

$$F_F = v \cdot F_t$$

gdje je:

$v$  – minimalni faktor sigurnosti za dinamičko ishodišno opterećenje ( $v = 1,8$ )

$$F_t = \frac{2 \cdot T_2}{D_F}$$

$F_t$  – obodna sila na polumjeru  $D_F$  [m] zbog djelovanja okretnog momenta  $T_2$  [Nm]

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

54

## Proračun cilindričnog steznog spoja

- ❑ Potrebna normalna sila:

$$F_N = \frac{F_F}{\mu}$$

$\mu$  – faktor trenja za poprečni cilindrični stezni spoj  
(vrijednost se očitava iz tablice 9.11 – Križan, B.:  
Osnove proračuna i oblikovanja konstrukcijskih  
elemenata, Školska knjiga, Zagreb, 2008.)

- ❑ Minimalni potrebni pritisak:

$$p_{min} = \frac{F_N}{A_f}$$

$F_N$  [N],  $A_f$  [mm<sup>2</sup>],  $p_{min}$  [N/mm<sup>2</sup>]

## Proračun cilindričnog steznog spoja

- ❑ Minimalni potrebni prijeklop:

$$P_{st} = p_{min} \cdot D_F \cdot (K_v + K_u)$$

$$K_v = \frac{(m_v + 1) + (m_v - 1) \cdot Q_v^2}{m_v \cdot E_v \cdot (1 - Q_v^2)}$$

$$K_u = \frac{m_u - 1}{m_u \cdot E_u}$$

$$m = \frac{1}{\nu}$$

$$Q_v = \frac{D_F}{D_v}$$

gdje je:  $\nu$  – Poisson-ov broj

( $\nu = 0,3$  čelik)

( $\nu = 0,25$  SL)

$E$  – modul elastičnosti

( $E = 2,1 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup> za čelik)

( $E = 1 \cdot 10^5$  N/mm<sup>2</sup> za SL)

$P_{st}$  [mm],  $p_{min}$  [N/mm<sup>2</sup>],  $D_F$ ,  $D_v$  [mm],  $K_u$ ,  $K_v$  [mm<sup>2</sup>/N],  $E$  [N/mm<sup>2</sup>],  $Q_v$ ,  $m$  (-)



## Proračun cilindričnog steznog spoja

- ☐ Stvarni minimalni potrebni prijeklop (zbog zaglađivanja površine):

$$P_{\min} = P_{\text{st}} + 3,2 \cdot (R_{\text{a os}} + R_{\text{a gl}})$$

gdje je:

$R_{\text{a}}$  [mm] – srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti (iz tablice 3.44 za  $R_{\text{a}}$  – odrediti prema kvaliteti obrade površine N7) – knjiga B. Križan

- ☐ Maksimalni dopušteni pritisak na steznoj površini:

$$P_{\max} \leq \frac{\sigma_{\text{dop}} \cdot (1 - Q_r^2)}{\sqrt{3 + Q_r^4}}$$

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{R_e}{1,1 \dots 1,3}$$

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

57

## Proračun cilindričnog steznog spoja

- ☐ Stvarni maksimalni dopušteni prijeklop:

$$P_{\max} = p_{\max} \cdot D_F \cdot (K_V + K_U)$$

- ☐ Odabir čvrstog dosjeda:

Dosjed treba odabrati tako da najveći i najmanji prijeklop za promatrani slučaj budu između  $P_{\min}$  i  $P_{\max}$ .

- ☐ Najčešće primjenjivani čvrsti dosjedi:

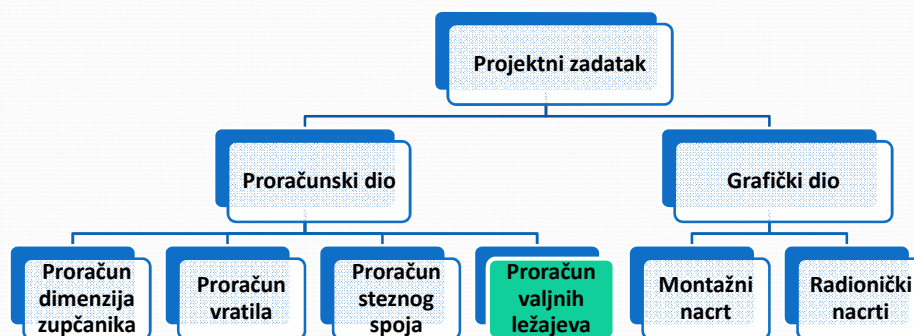
H7/s6, H7/t6, H7/u6, H7/x6, H7/z6

H8/u8, H8/x8

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

58

## 1-stupanjski reduktor – proračun



Konstrukcijske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

59

## Proračun valjnih ležajeva

### ❑ Ulazni podaci:

- Obodna sila na zupčanicima  $F_t$
- Radijalna sila na zupčanicima  $F_r$
- Brzina vrtnje pogonskog vratila  $n_1$
- Brzina vrtnje gonjenog vratila  $n_2$
- Dinamička nosivost ležajeva pogonskog vratila  $C_1$
- Dinamička nosivost ležajeva gonjenog vratila  $C_2$
- Minimalna potrebna trajnost ležajeva  $L_{hmin}$

Konstrukcijske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

60

## Proračun valjnih ležajeva

- ❑ Proračunom trajnosti valjnih ležajeva se provjerava da li odabrani ležajevi (u fazi proračuna-dimenzioniranja vratila) zadovoljavaju minimalnu potrebnu trajnost koja je definiran u projektnom zadatku. Pri tome bi bilo dobro u fazi proračuna-dimenzioniranja vratila uvijek u prvom koraku za definirani promjer  $d_L$  odabrati ležaj niže serije (manji), a tek kasnije ako se pokaže da odabrani ležaj ne zadovoljava potrebnu trajnost odabrati ležaj neke više serije (veći). Ponekad će biti potrebno izabrati i ležaj većeg unutarnjeg promjera  $d$ .
- ❑ Tip ležajeva za pogonsko i gonjeno vratilo je definiran u projektnom zadatku (predložak).

## Proračun valjnih ležajeva

- ❑ Ukupna radialna sila koja djeluje na pogonsko i na gonjeno vratilo:

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} \quad F_t [N], \quad F_r [N]$$

- ❑ Reakcije u osloncima (sile na ležajeve) za pogonsko vratilo:

$$F_{A1} = F_{B1} = \frac{F}{2}$$

- ❑ Reakcije u osloncima (sile na ležajeve) za gonjeno vratilo:

$$F_{A2} = F_{B2} = \frac{F}{2}$$

## Proračun valjnih ležajeva

- ❑ Na sve ležajeve djeluje jednaka radijalna sila s obzirom da ukupna radijalna sila djeluje točno na sredini pogonskog i gonjenog vratila.
- ❑ Dinamička nosivost ležajeva  $C_1$  i  $C_2$  se očitava iz kataloga proizvođača ležajeva za prethodno izabrane ležajeve u fazi proračuna-dimenzioniranja vratila.
- ❑ Trajnost ležaja:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \geq L_{hmin}$$

$C$  – dinamička nosivost (kN)

$P$  – opterećenje ležaja (kN)

$n$  – brzina vrtnje vratila odn. ležaja ( $\text{min}^{-1}$ )

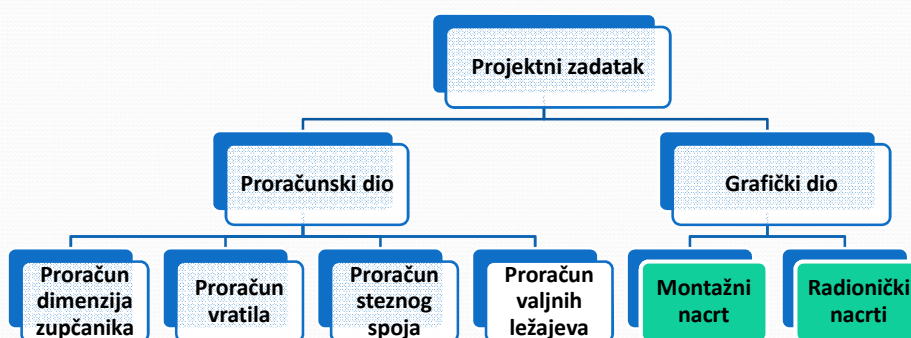
$p = 3$  – za kuglične ležajeve

$p = 10/3$  – za ostale (valjne) ležajeve

Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

63

## 1-stupanjski reduktor – izrada nacrt



Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

64

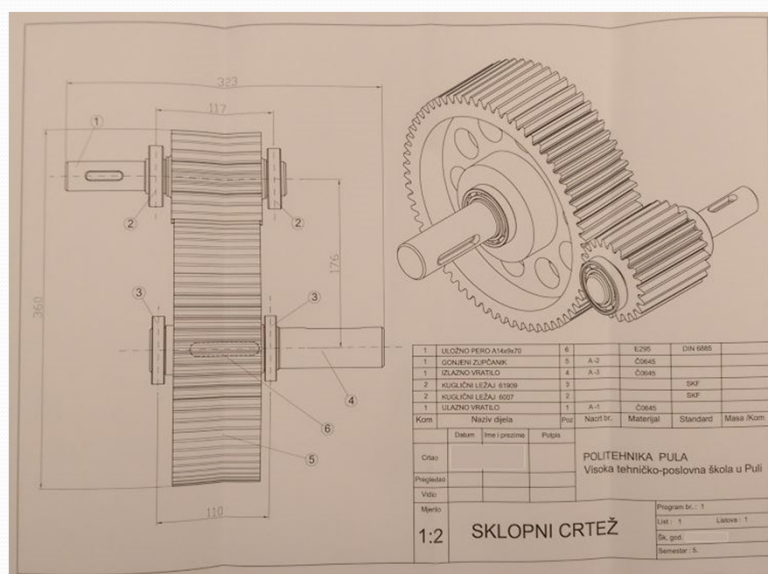


## Izrada nacрта

- ☐ U nastavku su dani primjeri nacrti aktivnog dijela reduktora. Nacrti nisu u potpunosti točni, te služe isključivo studentima kao orijentir u radu na projektom zadatku.
- ☐ Svi nacrti se izrađuju prema podacima dobivenim prethodno prikazanim proračunom. Sve dimenzije koje nisu definirane proračunom određene su prema predlošku dobivenom uz projektni zadatak.
- ☐ Nacrti se mogu raditi ručno ili uz pomoć računala primjenom određenog programskog sustava (npr. Autodesk AutoCAD, SolidWorks, Autodesk Inventor, itd.).

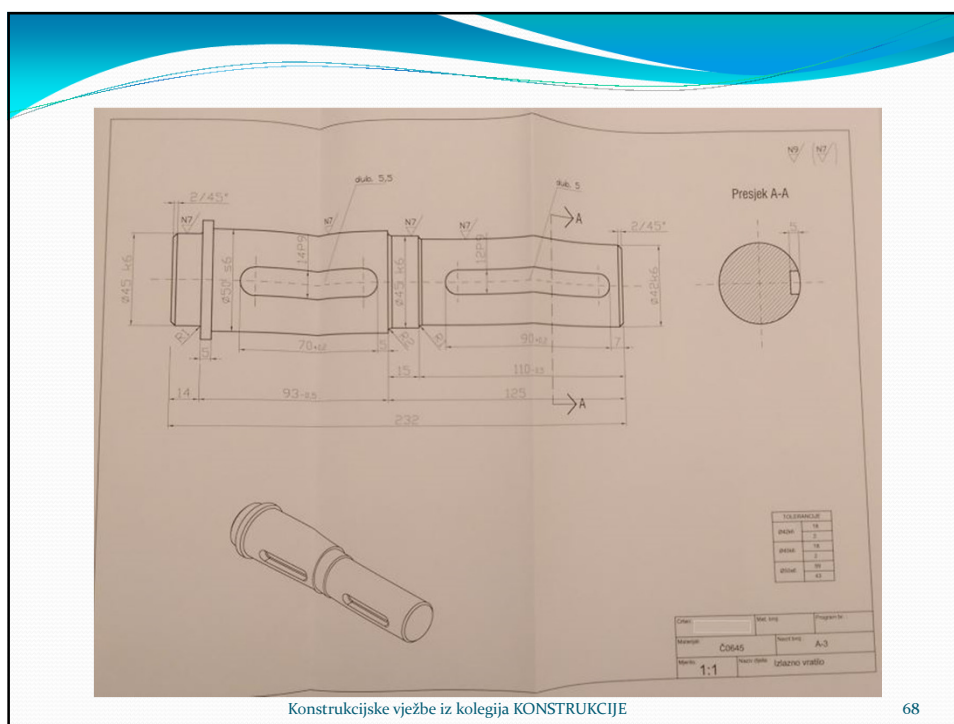
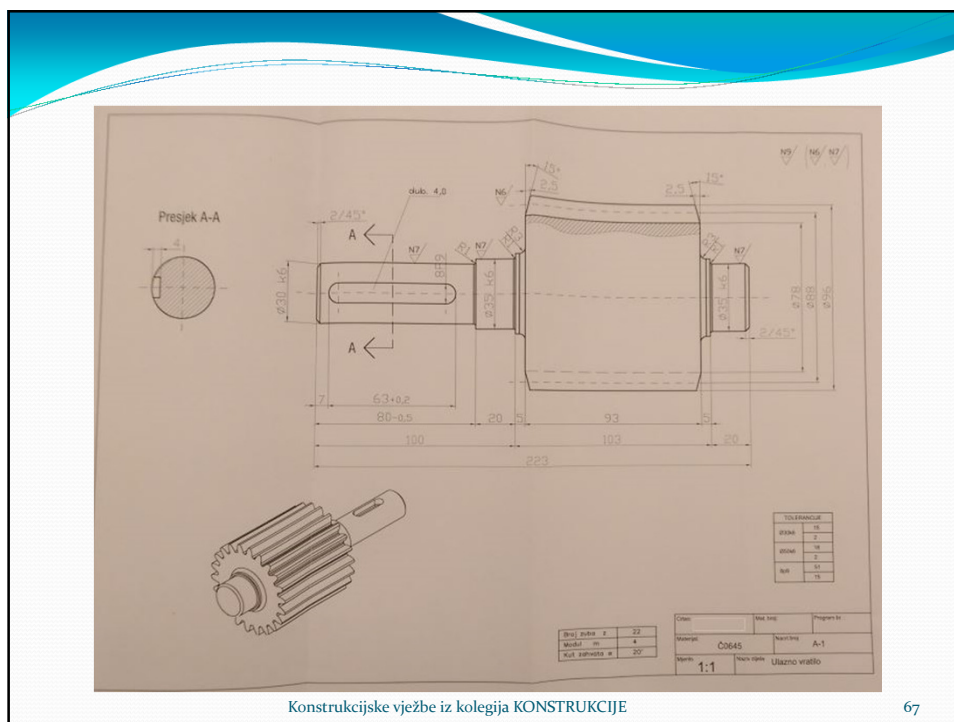
Konstrukcijske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

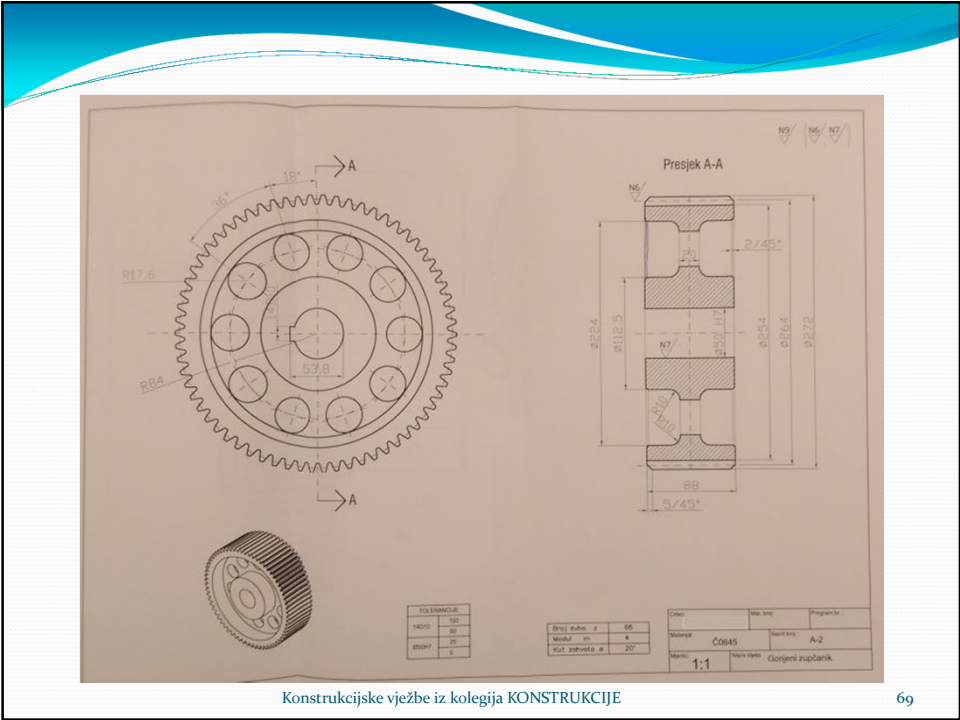
65



Konstrukcijske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE

66





Konstruktivske vježbe iz kolegija KONSTRUKCIJE