

## II. Mašinski materijali

### 1. elici - podela i označavanje

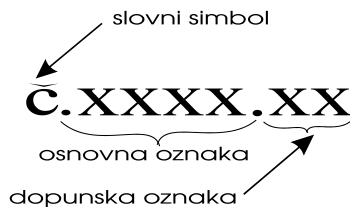
a) Ugljeni ni elici - ugljenik ima presudan uticaj na mehanička i tehnološka svojstva

1) sa ne garantovanim (hemijskim) sastavom.

2) sa garantovanim hemijskim sastavom.

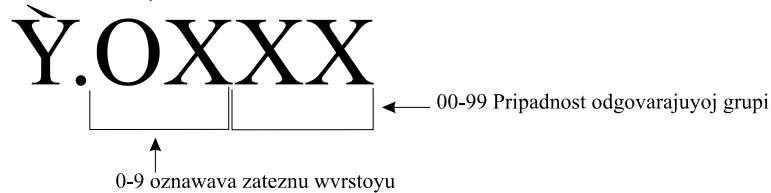
b) Legirani elici - osim C bitnog uticaja na svojstva imaju dominiraju i legiraju i elementi (jedan ili više). Uvek sa garantovanim hemijskim sastavom.

Oznaka:



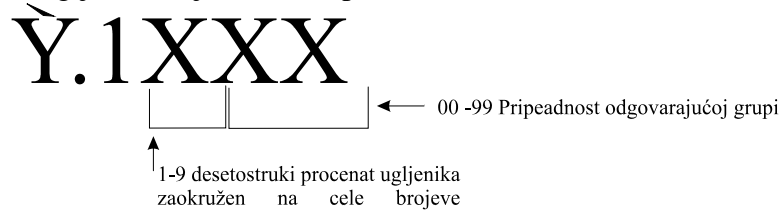
Dopunska oznaka se koristi pri isporuci poluproizvoda: limova, šipki, cevi itd; najčešće se izostavlja jer označava stanje elika (tehnički ne obradjen, žaren, normalizovan, poboljšan itd.)

1) elici sa ne garantovanim hemijskim sastavom - mogu biti samo ugljeni ni (kao slovni simbol)



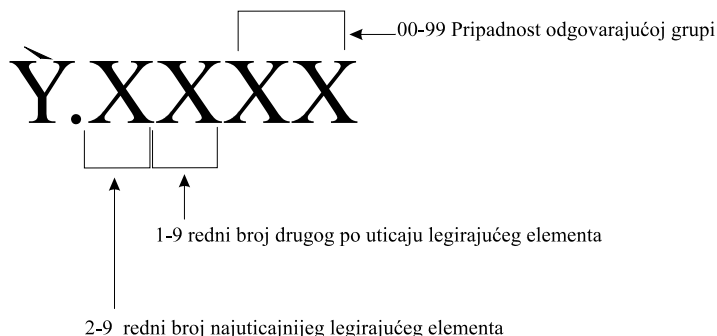
2) elici sa garantovanim hemijskim sastavom (kao slovni simbol)

a) ugljeni ni - jedinica na prvom mestu



b) legirani : - nisko - zbir procenata legirajućih elemenata je < 5 %

- visoko - zbir procenata legirajućih elemenata je > 5 %



Najuticajniji legiraju i element je onaj iji je procentualni sadržaj pomnožen faktorom vrednosti daje najve i broj, a drugi po zna aju prvi slede i manji broj.

**Tabela 7:** Procentualni sadržaj legiraju ih elemenata sa faktorima vrednosti

LEG.ELEM.	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	Cu	C	Al
% više od	0.6	0.8	0.2	0.3	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3	0.2	0.05
faktor vrednosti	1	1	4	4	7	14	14	20	30	1	1	1

Primeri:

1. Hemijskom analizom je utvrđen slede i sastav elika:

96% Fe ; 0.5% C ; 2% Mn ; 1% Ni ; 0,45 % Si ; 0,05 % Ti . elik je vatrootporan.

Množenjem procentualnog sadržaja elemenata sadržanih u eliku i faktorom vrednosti iz tabele 7. dobija se:

$$K_c \cdot C = 1 \cdot 0.5 = 0.5 \qquad K_{Ni} \cdot N_i = 4 \cdot 1 = 4$$

$$K_{Mn} \cdot M_n = 1 \cdot 2 = 2 \qquad K_{Ti} \cdot T_i = 30 \cdot 0.05 = 1.5$$

Izizracunatog se dobija:  $N_i$  – najuticajniji ,  $M_n$  – drugi po uticaju

Prema na inu obeležavanja elika zaklju uje se da je u pitanju: .5370 - gde na zadnjem mestu može da stoji broj od 0 - 9.

Uticaji pojedinih elemenata:

hrom- pove ava: \*  $\rho$  , HB, RB; smanjuje: habanje i koroziiju

nikl- pove ava: Rm

mangan- pove ava: HB i livkost

molibden: pove ava: HB,  $\rho$ , termi ku obradljivost

vanadijum i volfram- pove ava: Rm, HB

silicijum- pove ava: Rm, HB i elasti nost

sumpor- pove ava krtost u vru em stanju

fosfor- pove ava krtost u hladnom stanju

\*Oznake koje su koriš ene:

HB - tvrdoća,  $\rho$  - žilavost,  $R_m$  - zatezna vrstoća

Dopunska oznaka:

o - bez određene terminologije obrade

1 - žaren

2 - žaren na najbolju obradivost

3 - normalizovan

4 - poboljššan

5 - hladno deformisan

2. Napisati oznaku elika sa negarantovanim hemijskim sastavom koja je zatezna vrstoća  $475\text{N/mm}^2$ , a koristi se za automate.

Kako je elik sa negarantovanim sastavom, radi se o ugljeni nominalni eliku kod koga je na prvom mestu oznaka 0. Vrednost zatezne vrstoće nam daje na drugom mestu oznake broj 4. Pošto se radi o eliku za automate na poslednja dva mesta može biti broj između 90 i 99, tako da oznaka može biti npr. .0495.

3. Napisati oznaku ugljeni nog elika sa garantovanim hemijskim sastavom kod koga je procentualni sadržaj ugljenika 0.67%, a elik je namenjen za terminologiju obradu poboljšanjem.

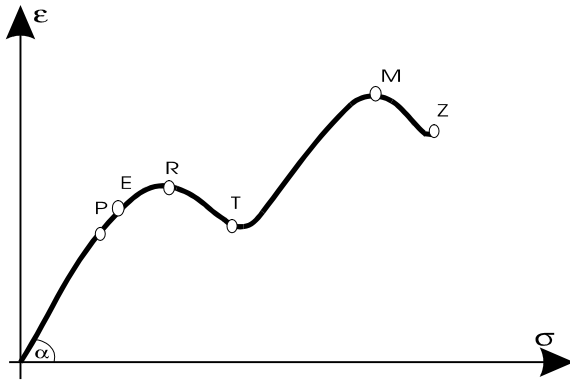
Kako se radi o ugljeni nominalni eliku sa garantovanim sastavom na prvom mestu biće 1. Simbol na drugom mestu predstavlja desetostruku vrednost procenta ugljenika, zaokruženo na desetine, što je u ovom slučaju 7. Poslednja dva mesta vezana su za pripadnost elika grupi za poboljšanje i mogu uzimati vrednosti od 30 do 39, tako da je oznaka traženog elika npr. .1731.

## 2. Osnovne vrste naprezanja

Postoje šest osnovnih vrsta naprezanja i to :

- |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| - zatezanje | - smicanje  | - uvijanje  |
| - pritisak  | - savijanje | - izvijanje |

### 2.1. Zatezanje



Na slici je dat naj eš i oblik dijagrama napon-istezanja za elik sa malim sadržajem ugljenika. Dijagram se može dobiti eksperimentalnim putem zatezanjem epruveta na kidalici. Zna ajne ta ke na dijagramu su:

1. P - granica proporcionalnosti - do nje linearna zavisnost napona i deformacije Važi Hukov zakon:  $\text{tg} \alpha = E = \frac{U}{V}$ ; E - Jungov modul elasticnosti
2. E - granica elasti nosti - do nje ne nastaju nikakve trajne (plasti ne) deformacije ve nakon prestanka dejstva sile telo poprima prvobitan oblik
3. R - granica razvla enja - nakon nje rastu deformacije uz opadanje napona sve do T - granica te enja
4. M - granica na kidanje; od T do M o vrš avanje materijala rastu deformacije uz porast napona,  $\sigma_M$  - zatezna vrsto a (ili ja ina materijala na kidanje)
5. Z - kidanje,  $\sigma_z$  - napon kidanja

Napon na istezanje bi e:

$$\dagger = \frac{F}{A}$$

Veza izmedju napona i deformacije data je preko Hukovog zakona i važi samo do granice proporcionalnosti (P) na dijagramu (za linearno podru je):

$$\dagger = v \cdot E$$

Relativno izduženje epruvete izražava se kao koli nik apsolutnog izduženja i po etne dužine epruvete:

$$v = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Usled izduzenja javlja se kontrakcija u poprecnom preseku epruvete i dovodi do smanjenja precnika :

$$\Delta d = d_0 - d_1$$

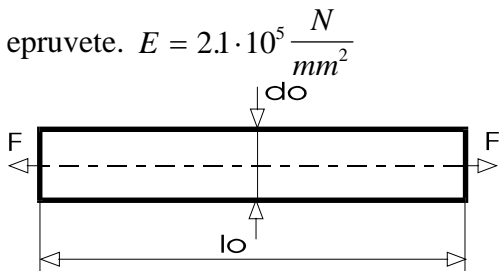
$$v_d = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{d_0 - d_1}{d_0}$$

$$\sim = \frac{v_d}{v} = \frac{\Delta d / d_0}{\Delta l / l_0} = \frac{E}{2G} - 1$$

gde je  $\sim$  Poasonov koeficijent koji predstavlja odnos relativnog smanjenja precnika epruvete i njenog relativnog izduzenja. Koeficijent je karakteristika materijala i za vecinu celika iznosi 0,3.

Primer:

4. elik na epruveta prenika 20 mm i dužine 200 mm opterećena je na istezanje silom od 30 kN. Potrebno je odrediti apsolutno relativno istezanje i relativno smanjenje prenika epruvete.  $E = 2.1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2}$



$$\tau = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\frac{d_0^2 \pi}{4}} = \frac{4 \cdot 30000}{20^2 \cdot \pi} = 95.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{relativno izduzenje iz Hukovog zakona : } v = \frac{\tau}{E} = \frac{95.5}{2.1 \cdot 10^5} = 45.4 \cdot 10^{-5}$$

$$v = \frac{\Delta l}{l_0} \rightarrow \Delta l = v \cdot l_0 = 45.4 \cdot 10^{-5} \cdot 200 = 90.8 \cdot 10^{-3} mm$$

$\Delta l = l - l_0$  - apsolutno izduzenje

Relativno smanjenje prenika epruvete biće:

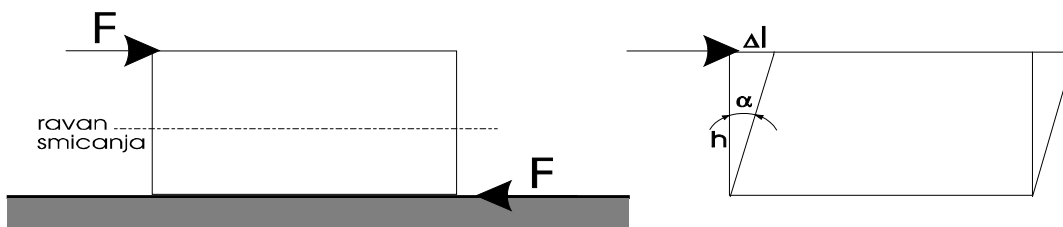
$$v_d = v \cdot \eta = 45.4 \cdot 10^{-5} \cdot 0.3 = 13.62 \cdot 10^{-5}$$

gde je :

$$E = 2.1 \cdot 10^5 \frac{N}{mm^2} - \text{Jungov moduo elastičnosti za elik}$$

$$\eta = 0.3 - \text{Poasonov koeficijent za elik}$$

## 2.2.Smicanje



( $\sigma = E \cdot \varepsilon$  – analogija)

$$\tau = G \cdot \frac{\Delta l}{h} = G \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \alpha - \text{ugao smicanja}$$

$$F = \tau \cdot A_{SM}$$

Za razliku od istezanja, sile ne deluju duž iste napadne linije već su paralelne.

Primer:

5. Na elu ni paralelopiped deluju sile istog intenziteta, a suprotnog smera na naspramnim stranama. Ako je rastojanje izmedju sila 2 cm, a dimenzije paralelopipeda 40 x 20 x 10 mm apsolutna deformacija 80  $\mu\text{m}$ ;  $G = 8.1 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  odrediti napon, silu i ugao smicanja.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta l}{h} = \frac{80 \cdot 10^{-3}}{20} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} 4 \cdot 10^{-3} = 0.23^\circ$$

$$\tau = G \cdot \operatorname{tg} \alpha = 8.1 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 324 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F = \tau \cdot A_{SM} = 324 \cdot 40 \cdot 10 = 129600 \text{ N} \cong 130 \text{ kN}$$

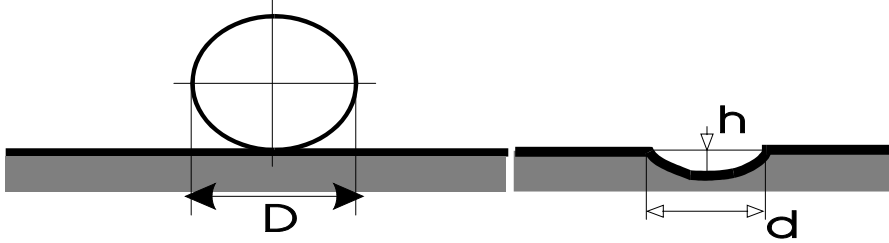
### 3. Ispitivanje materijala

#### 3.1. Ispitivanje tvrdoće

*Definicija tvrdoće:*

Otpor kojim se neko vrsto telo suprotavlja prodiranju nekog drugog vrstog tela u njega.

- a) Statičke metode: Brinelova, Rokvelova, Vickersova, Jankina za drvo;
- b) Dinamičke metode: Poldijeva



### 3.1.1. Brinellova metoda :

Utiskiva je eli na kuglica

$A = Dfh$  – površina otiska

$$A = \frac{Df}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad F - \text{maksimalna sila utiskivanja}$$

$$HB = \frac{2F}{Df \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad D = 10\text{mm}, 5\text{mm ili } 2.5\text{mm} - \text{prečnik kuglice}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} - \text{prečnik otiska u mm}$$

Za određivanje sile utiskivanja koristi se formula:

$$F = C \cdot D^2$$

gde je C konstanta koja za elik iznosi 300.

Znaju i tvrdo u može se približno odrediti zatezna vrsto a kao:

$$R_m = k \cdot HB$$

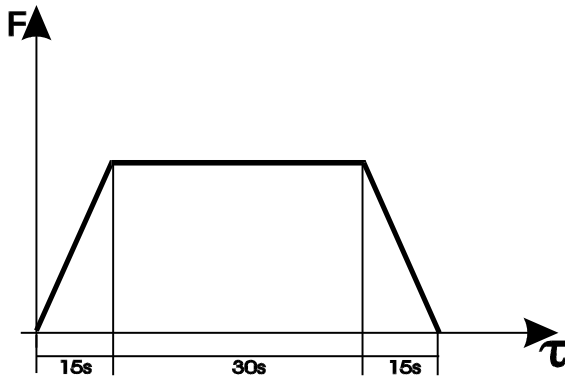
gde je k konstanta koja iznosi:

za ugljeni ne elike:  $k = 0.36$

za hrom elike:  $k = 0.34$

za livena gvoždja:  $k = 0.20$

Za drvo sila 100,500 ili 1000 N, kuglica prvo prodire u drvo 15 s do dostizanja potrebne sile pod kojom se drži 30 s, a zatim vrši rastere enje 15 s.



Dobre i loše osobine Brinelove metode za ispitivanje tvrdoće:

1) dobre strane

- visoka tačnost
- veći otisak čime se izbegava uticaj lokalizovane tvrdoće pojedinih manjih mesta
- orijentacioni podatak o zateznoj vrstici

2) loše strane

- sporost izvođenja (loše pri serijskim ispitivanjima)
- oštećenje površine (nepovoljno kod gotovih komada)
- nemogućnost ispitivanja vrlo velike tvrdoće.

Zadatak:

6. Merenjem tvrdoće nekog ugljeničnog čelika Brinelovom metodom dobijeni su sledeći podaci:  $D=5\text{mm}$ ;  $d_1=2.1\text{mm}$ ;  $d_2=1.9\text{mm}$ . Odrediti tvrdoću po Brinelu i približnu zateznu vrsticu materijala.

Rešenje:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{2.1 + 1.9}{2} = 2\text{mm}$$

$$F = C \cdot D^2 = 300 \cdot 5^2 = 7500\text{N}$$

$$HB = \frac{2F}{Df \cdot \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = \frac{2 \cdot 7500}{5f \cdot \left( 5 - \sqrt{25 - 4} \right)} = 2329 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_m = k \cdot HB = 0.36 \cdot 2329 = 840 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$





$$\dots = \frac{W}{A} = \frac{E_{p1} - E_{p2}}{a \cdot b} \quad E_{p1} = mgh_1 = mgR \cdot (1 - \cos \Gamma_1)$$

$$E_{p2} = mgh_2 = mgR \cdot (1 - \cos \Gamma_2)$$

gde je:  $\dots \left( \frac{N}{mm^2} \right)$  – žilavost

W (J) - utrosen rad na prelom epruvete

A (mm) - površina poprečnog preseka epruvete

$E_{p1}$  i  $E_{p2}$  (J) - potencijalne energije u početnom i krajnjem položaju

### Zadaci:

7. Brzina tega [arpijevog klatna u trenutku udara u epruvetu iznosi 5m/s, masa tega 10kg, zaustavni ugao  $\alpha_2 = 20^\circ$ , a krak 1m. Odrediti žilavost ispitivanog materijala za standardnu epruvetu preseka 10 x 7 mm.

Rešenje:

Prema zakonu o održanju mehani ke energije ( $E_{meh} = const$ ).

$$E_{meh} = E_{p1} + E_{k1} = E_{p0} + E_{k0} = const$$

$$E_{k1} = 0 \text{ (jer je } v_1 = 0)$$

$$E_{p0} = 0 \text{ (jer je } h_0 = 0)$$

$$E_{p1} = E_{k0} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{10 \cdot 25}{2} = 125J$$

$$E_{p2} = mgh_2 = mgR(1 - \cos \Gamma_2) = 10 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot (1 - \cos 20^\circ) = 4.91J \cong 5J$$

$$\dots = \frac{W}{A} = \frac{E_{p1} - E_{p2}}{a \times b} = \frac{125 - 5}{10 \cdot 7} = 1.72 \frac{J}{mm^2}$$

8. Epruveta popre nog preseka 10 x 7 mm ispituje se na žilavost. Masa tega je  $m = 20$  kg, rastojanje od ta ke vešanja klatna do težišta tega  $R = 2.51$  m, a žilavost koja se dobija  $\rho = 3$  J/mm<sup>2</sup>. Odrediti visinu na koju treba podi i klatno i ugao otklona klatna za tu visinu, ako je zaustavna visina  $h_2 = 0.1$  m

$$10 \times 7 \text{ mm}$$

$$m = 20 \text{ kg}$$

$$R = 2.51 \text{ m}$$

$$\dots = 3 \frac{J}{\text{mm}^2}$$

$$h_2 = 0.1 \text{ m}$$

$$h_1, r_1 = ?$$

$$\dots = \frac{W}{a \cdot b} \rightarrow W = \dots \cdot a \cdot b = 3 \cdot 7 \cdot 10 = 210 \text{ J}$$

$$W = E_{p1} - E_{p2} = mg(h_1 - h_2)$$

$$h_1 = h_2 + \frac{W}{mg} = 0.1 + \frac{210}{20 \cdot 9.81} = 1.17 \text{ m}$$

$$\cos r_1 = \frac{R - h_1}{R} = \frac{2.51 - 1.17}{2.5} = 0.532$$

$$r_1 = \arccos 0.532 = 64^\circ .3$$

### III Mašinski elementi

Mašina se sastoji iz ve eg broja funkcionalno povezanih delova . Onaj deo koji se ne može više rastavljati naziva se osnovni mašinski deo ili mašinski deo . Više tako funkcionalno povezanih delova ine mašinski sklop. Više mašinskih sklopova i delova funkcionalno povezanih ine mašinsku grupu. Više mašinskih grupa , sklopova i delova funkcionalno povezanih ine mašinu .

Mašinski element je mašinski deo , mašinski pot sklop ili mašinski sklop koji izvršava elementarnu funkciju na mašini ili u konstrukciji .

Opšti mašinski elementi se dele na :

1.) elemente za vezu :

- a) nerazdvojivi spojevi
  - zakovani spojevi
  - zavareni spojevi
- b) razdvojivi spojevi
  - navojni spojevi
  - presovani spojevi
  - spojevi klinovima
  - elasti ni spojevi (opruge)

2.) elementi za prenos snage :

- frikcionni prenosnici

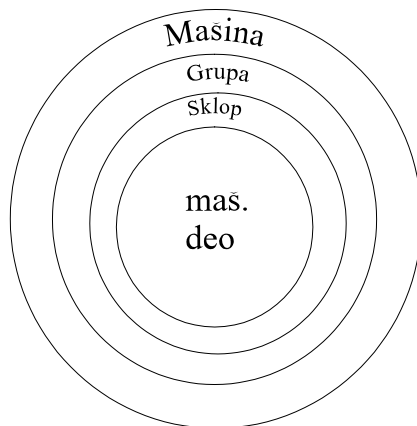
- remeni prenosnici
- zupani parovi
- lanani prenosnici

3.) elementi za obrtno kretanje :

- osovine i vratila
- ležaji : klizni i kotrljajni
- spojnice

4.) elementi za prenos tečnosti i gasova :

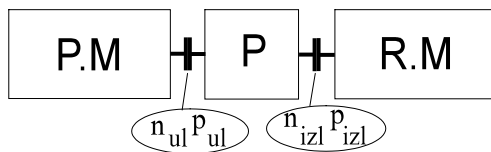
- cevne armature
- ventili
- razvodnici



Slika: Shematski prikaz hijerarhije delova u mašini

Mašinski sistemi sastoje se iz tri osnovne celine :

- 1.) Pogonske mašine (elektro - motor , Otov ili Dizelov motor ) pretvara izvornu energiju u mehaničku.
- 2.) Prenosnika (elementi za prenos snage ) - prenose energiju za potrebe radne mašine .
- 3.) Radna mašina - pretvara energiju u koristan rad (nosač alata alatne mašine, pritiskiva prese , rotor pumpe i dr. )



Slika: Povezanost tri osnovne celine u mašinskom sistemu

Prenosnici prenose energiju od izvora do radne mašine i prilagodjavaju je njenim potrebama .

## 1. Kinematika prenosnika

Kinematske karakteristike prenosnika su :

1.) Radni prenosni odnos :

$$i = \frac{n_{ul}}{n_{iz}} = \frac{\omega_{ul}}{\omega_{iz}} = \frac{v/r_{oul}}{v/r_{oiz}} = \frac{r_{oiz}}{r_{oul}} = \frac{d_{oiz}}{d_{oul}} = \frac{m \cdot Z_{iz}}{m \cdot Z_{ul}} = \frac{Z_{iz}}{Z_{ul}}$$

- ako se broj obrta smanjuje  $n_{iz} < n_{ul}$ , a time  $i > 1$  prenosnik nazivamo reduktorom .

- ako se broj obrta poveća  $n_{izl} > n_{ul}$ , a time  $i < 1$  prenosnik nazivamo multiplikatorom .

Izra unava se kao proizvod parcijalnih prenosnih odnosa parova (n) koji ine prenosnik:

$$i = \prod_{j=1}^n i_j$$

2.) Stepen iskoriš enja

$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}}$$

- za meru optere enja uzima se obrtni moment

$$M = \frac{P}{\xi} ; \xi = 2fn , za n \left[ \frac{obrta}{s} \right]$$

$$; \xi = fn/30 , za n \left[ \frac{obrta}{min} \right]$$

$$y = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{M_{iz} \cdot n_{iz}}{M_{ul} \cdot n_{ul}} = \frac{M_{iz}}{M_{ul}} \cdot \frac{1}{i} \rightarrow M_{iz} = M_{ul} \cdot i \cdot y$$

Stepen iskoriš enja prenosnika se, takodje, može predstaviti kao proizvod parcijalnih stepena iskoriš enja mašinskih elemenata koji sa injavaju prenosnik:

$$y = \prod_{j=1}^n y_j$$

Ukoliko je samo jedan par prisutan u prenosniku , ulaz odgovara pogonskom , a izlaz gonjenom elementu .

### Zadaci:

1. Odrediti broj zuba na gonjenom zup aniku zup astog para, ako je broj zuba na pogonskom zup aniku 15, a broj obrtaja na gonjenom vratilu  $100 \text{min}^{-1}$ , a na pogonskom  $200 \text{min}^{-1}$ .

Rešenje:

$$i = \frac{n_p}{n_g} = \frac{z_g}{z_p} \rightarrow z_g = z_p \cdot \frac{n_p}{n_g} = 15 \cdot \frac{200}{100} = 30$$

2. Odrediti prenosni odnos veze i pre nik zup anika na ulaznom vratilu ako je broj zuba na njemu 20, a na zup aniku izlaznog vratila iz prenosnika 10; dok je modul zup anika 3.

Rešenje:

$$i = \frac{z_{iz}}{z_{ul}} = \frac{10}{20} = 0.5$$

$$d_{ul} = m \cdot z_{ul} = 3 \cdot 20 = 60mm$$

3. Odrediti obrtni moment na ulaznom vratilu ako je na izlaznom 150Nm, stepen iskoriš enja veze zup anika koji se nalaze na vratilima 0.96, a brojevi zuba na zup aniku izlaznog vratila 30, a na ulaznom 15.

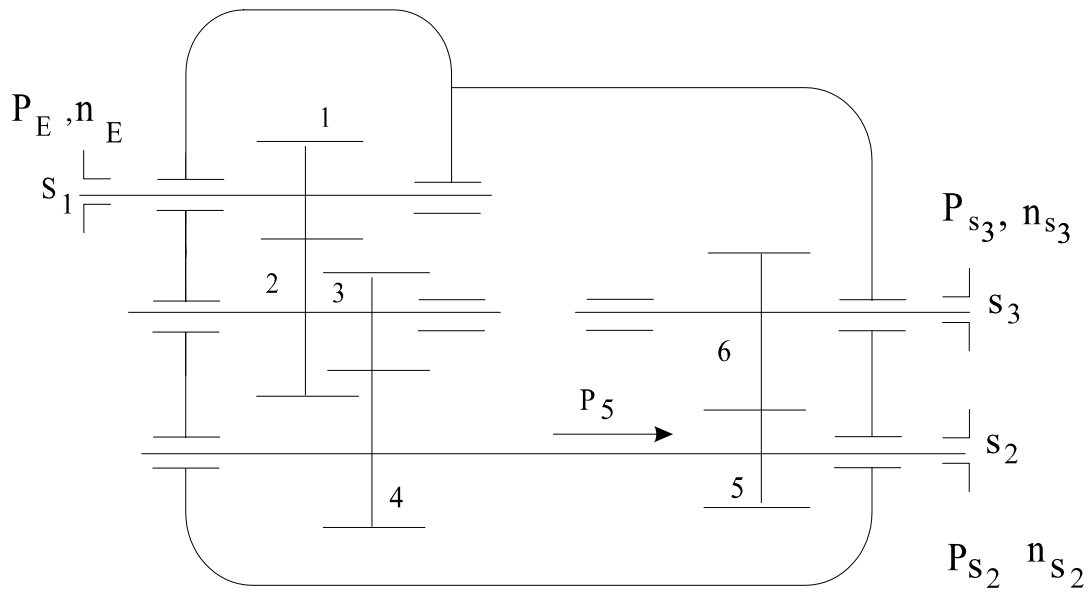
Rešenje:

$$i = \frac{z_{iz}}{z_{ul}} = \frac{30}{15} = 2$$

$$M_{ul} = \frac{M_{iz}}{i \cdot \gamma} = \frac{150}{2 \cdot 0.96} = 78.12Nm$$

4. Koliki se obrtni moment može ostvariti na izlaznoj spojnici 3 pomo u elektromotora snage  $P_E = 5,6kW$  i u estanosti obrtanja  $n_e = 16s^{-1}$  koji je na spojnici 1. Na spojnici 2 je snaga  $P_{S_2} = 2kW$ . Svaki stepen prenosa ima stepen iskoriš enja  $\eta = 0.98$ , a broj zuba zup anika je redom:  $Z_1 = 22$ ,  $Z_2 = 110$ ,  $Z_3 = 21$ ,  $Z_4 = 103$ ,  $Z_5 = 17$ ,  $Z_6 = 82$ .

Izra unati i snagu na spojnici 3 i moment na spojnici 2 kao i u estanost obrtanja na tim spojnicama.



Re senje:

Pr enosni odnosi zupcastih parova i brojevi obrataja na izlaznim spojnicama su:

$$i_{12} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{110}{22} = 5$$

$$i_{34} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{103}{21} = 4.90$$

$$i_{56} = \frac{Z_6}{Z_5} = \frac{82}{17} = 4.82$$

$$n_{S_2} = \frac{n_E}{i_{12}i_{34}} = \frac{16}{5 \cdot 4.9} = 0.653s^{-1}$$

$$n_{S_3} = \frac{n_E}{i_{12}i_{34}i_{56}} = \frac{16}{5 \cdot 4.9 \cdot 4.82} = 0.135s^{-1}$$

I nacin ( preko snage ) :

$$P_{S_3} = (P_5 - P_{S_2}) \cdot \gamma_{56} = (5,38 - 2) \cdot 0,98 = 3,31 kW$$

$$P_5 = P_E \cdot \gamma_{12} \cdot \gamma_{34} = 5,6 \cdot 0,98^2 = 5,38 kW$$

$$M_{S_2} = \frac{P_{S_2}}{\check{S}_{S_2}} = \frac{P_{S_2}}{2f \cdot n_{S_2}} = \frac{2 \cdot 10^3}{2f \cdot 0,653} = 487,5 Nm$$

II nacin ( preko momenta ) :

$$M_4 = M_1 \cdot i_{12} \cdot i_{34} \cdot \gamma_{12} \cdot \gamma_{34} = 55,7 \cdot 5 \cdot 4,9 \cdot 0,98 = 1310,6 Nm$$

$$M_1 = \frac{P_1}{\check{S}_1} = \frac{5,6 \cdot 10^3}{100,5} = 55,7 Nm$$

$$\check{S}_1 = 2f \cdot n_1 = 2 \cdot f \cdot 16 = 100,5 s^{-1}$$

$$M_5 = M_4 - M_{S_2} = 1310,6 - 488 = 822,6 Nm$$

$$M_{S_3} = M_5 \cdot i_{56} \cdot \gamma = 822,6 \cdot 4,82 \cdot 0,98 = 3885,7 Nm$$

$$P_{S_2} = M_{S_2} \cdot \check{S}_{S_2} = 487,5 \cdot 2f \cdot 0,135 = 3296 W \cong 3,3 kW$$

Obrtni moment se može povećati ( smanjiti ), ali ukupna snaga na izlazu je samo malo manja od ulazne snage koju u ovom slučaju daje elektromotor:  $P_E \approx P_{S_2} + P_{S_3}$ .

Također se iz  $T = \frac{P}{\omega}$  i  $\omega = \frac{v}{r}$ , pri istoj snazi koja se prenosi, za veći prenik zupanika dobija manja ugaona brzina a time i veći obrtni moment. Za manji prenik zupanika situacija je obrnuta - dobija se veća ugaona brzina i manji moment.

2. Kinematska šema alatne mašine za obradu drveta - deblja e prikazana je na sledejoj slici. Glavno kretanje koje ostvaruje alat (A) je u kinematskoj vezi preko prenosnika (P) sa pomoćnim kretanjem koga ostvaruju valjci (V<sub>1</sub>) i (V<sub>2</sub>).

Ako su :

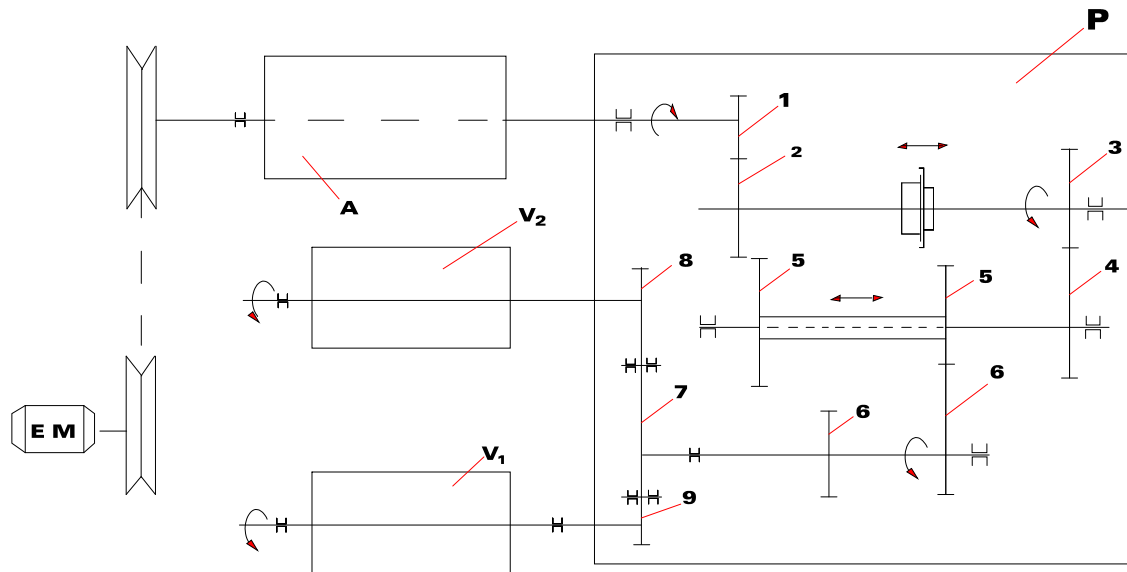
- širina zahvata alata i predmeta rada l = 300 mm
- dubina rezanja  $\delta = 2 mm$
- brzina pomoćnog kretanja  $v_{pk} = 6 m / s$
- specifična sila rezanja  $k_r = 10 N / mm^2$
- koef. sigurnosti pri izboru elektromotora  $k = 1,2$
- stepen korisnosti kaišnika  $\eta_k = 0,8$  ; a svakog zupastog para  $\eta_z = 0,98$
- snage pomoćnih kretanja iznose 5 % od snage rezanja .

Potrebno je odrediti snagu elektromotora za pogon deblja e .



Rešenje :

Tangencijalna (obimna) sila rezanja bi e :



$$F_t = k_r \cdot A = k_r \cdot l \cdot u = 10 \cdot 300 \cdot 2 = 6000N = 6kN$$

Snaga rezanja se određuje preko :

$$P_r = F_t \cdot v_{pk} = 6 \cdot 2 = 12kW$$

Kako su snage pomognog kretanja 5% :

$$P_{v_1} = P_{v_2} = 0.05 \cdot P_r = 0.6kW$$

Snaga elektromotora je :

$$P_{EM} = \frac{P_{RM} \cdot k}{\gamma_k}$$

a snaga radne mašine :

$$P_{RM} = P_r + P_1$$

gde je :

$P_r$  - snaga rezanja kojom alat vrši rad nad obradkom

$P_1$  - snaga koja se preko zupnika 1 predaje prenosniku

Do snage  $P_1$  dolazimo polazeći od poznatih snaga na valjcima  $V_1$  i  $V_2$  :

$$P_7 = P_{V_2} / y_{78} + P_{V_1} / y_{79} = \frac{2 \cdot 0.6}{0.98} = 1.224 kW$$

$$P_7 = P_6$$

$$P_5 = P_6 / y_{56} = \frac{1.224}{0.98} = 1.249 kW$$

$$P_5 = P_4$$

$$P_3 = P_4 / y_{34} = \frac{1.249}{0.98} = 1.275 kW$$

$$P_3 = P_2$$

$$P_1 = P_2 / y_{12} = \frac{1.275}{0.98} = 1.3 kW$$

Sada je snaga elektromotora :

$$P_{EM} = \frac{[P_r + (P_{V_1} / y_{78} + P_{V_2} / y_{79}) / y_{12} / y_{34} / y_{56}] \cdot k}{y_k} = \frac{[P_r + (P_{V_1} / y_z + P_{V_2} / y_z) / y_z^3] \cdot k}{y_k} =$$

$$\frac{[12 + 1.3] \cdot 1.2}{0.8} = 19.95 kW \cong 20 kW$$

## 2. Dimenzionisanje vratila

3. Vratilo A-B prima i prenosi snagu preko zup anika 1 i 2 na vratilo C-D. Zup anik 1 postavljen je na sredini vratila A-B. Veza izmedju vratila A-B i zup anika 1 ostvarena je uz pomoć klina bez nagiba. Vratilo je izradjeno od elika .0545, zup anici od sivog liva, a rad je pravljen slabim udarima.

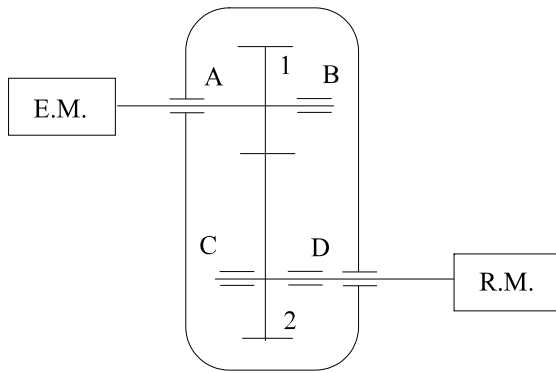
Ako su: prenik zup anika 1 120mm; snaga koja se prenosi je 25 kW ; broj zuba zup anika 1 iznosi 20, a broj zuba zup anika 2 iznosi 45 ; broj obrtaja vratila C-D iznosi 800 min<sup>-1</sup> ; dužina vratila A-B iznosi 150 mm ; α= 1 - koeficijent svodjenja savijanja na uvijanje.

Potrebno je naći:

- 1) Skicirati prenosnik
- 2) Obrtni moment na vratilu A-B i modul zup anika.
- 3) Minimalni prenik vratila A-B na mestu zup anika (koristiti proračun za "teško" vratilo).
- 4) Minimalnu širinu glavnice zup anika 1.

Rešenje :

- 1)



2)

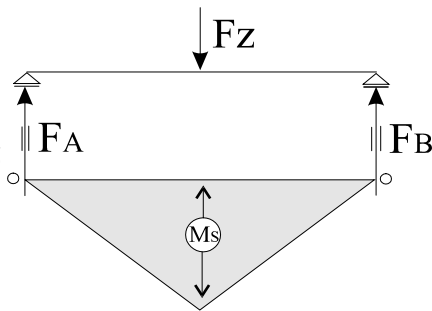
$$i = \frac{n_{ul}}{n_{iz}} = \frac{n_{AB}}{n_{CD}} = \frac{d_{o1}}{d_{o2}} = \frac{m \cdot Z_2}{m \cdot Z_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{45}{20} = 2.25$$

$$n_{AB} = i \cdot n_{CD} = 2.25 \cdot 800 = 1800 \text{ min}^{-1}$$

$$\check{S}_{AB} = \frac{f \cdot n_{AB}}{30} = 188.5 \text{ s}^{-1}$$

$$M_{AB} = \frac{P}{\check{S}} = \frac{25 \cdot 10^3}{188.5} = 132.62 \text{ Nm}$$

$$m = \frac{d_{o1}}{Z_1} = \frac{120}{20} = 6$$



3)

$$F_t = \frac{M_{AB}}{d_{o1}/2} = \frac{2 \cdot 132.6}{0.06} = 4421 \text{ N}$$

$$M_s = \frac{F_t \cdot l_{AB}}{2} = \frac{4421 \cdot 150 \cdot 10^{-3}}{2} = 165.8 \text{ Nm}$$

$$M_i = \sqrt{M_{AB}^2 + \left(\frac{2M_s}{r}\right)^2} = \sqrt{132.6^2 + \left(\frac{2 \cdot 165.8}{1}\right)^2} = 357.1 \text{ Nm}$$

$$t_{doz} = \frac{R_m}{\epsilon} = \frac{545}{5} = 109 \text{ N/mm}^2$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_i}{f \cdot t_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 357.1 \cdot 10^3}{f \cdot 109}} = 28 \text{ mm}, \text{ precnik vratila } d_v = d + t = 28 + 4.1 = 32.1 \text{ mm}$$

standardizovani precnik je:  $d_s = 34 \text{ mm}$

$h = 7 \text{ mm}; t = 4.1 \text{ mm}; b = 8 \text{ mm}$  – uzeto iz Tablice 4., zadatak 5. Pr aktikuma

4) Minimalna sirina glavcine predstavlja korisnu duzinu klina :

$$l_k = 1.5 \cdot d_s = 1.5 \cdot 34 = 51 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F}{l_k(h-t)} = \frac{4421}{42 \cdot (7-4,1)} = 36.3 \text{ N/mm}^2 < p_{doz} = 53 \text{ N/mm}^2$$

⊗ napomena:

jednina je dobijena prema :

$$\tau_{doz} = \frac{M_1}{W_1}; \quad W_0 = \frac{d^3 f}{16} - \text{polarni otporni moment za puno vratilo}$$

$$W_0 = \frac{d^3 f}{16} (1 - \epsilon^4) - \text{polarni otporni moment za suplje vratilo}$$

$$\epsilon = \frac{d}{D}$$

gde je:

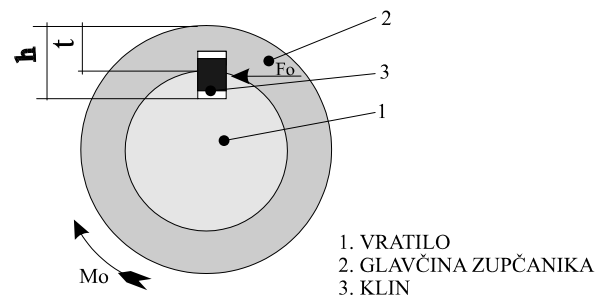
D - spoljnji prenik vratila

d - unutrašnji prenik vratila

“Teško” vratilo je izloženo savijanju i uvijanju, dok se “lakim” vratilom smatra ono kod koga se savijanje može zanemariti, pa se za merodavno opterećenje uzima samo uvijanje.

### 3. Izbor klina bez nagiba

4. Veza vratila i remenice od sivog liva ostvarena je zaobljenim klinom bez nagiba. Merodavni obrtni moment  $M_0 = 90 \text{ Nm}$ , prenik vratila  $d = 30 \text{ mm}$ . Pogon je sa slabim udarima koji se mogu zanemariti. Dimenzionisati i proveriti klin.



Rešenje :

Iz tablice za klinove date u Praktikum, za prenik vratila  $d = 30 \text{ mm}$  određujemo mere klina bez nagiba (visoki) :

$b = 8 \text{ mm}$  ;  $h = 7 \text{ mm}$  ;  $t = 4.1 \text{ mm}$  , korisna dužina  $l_k = 15d = 15 \cdot 30 = 45 \text{ mm}$  ; a dužina klina sa poluokruglim elom  $l = l_k + b = 45 + 8 = 53 \text{ mm}$ . Usvaja se standardno  $l = 56 \text{ mm}$

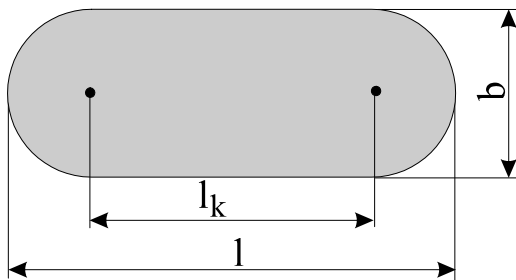
Površinski pritisak je :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F_0}{l_k(h-t)} = \frac{2M_0}{l_k \cdot d \cdot (h-t)} = \frac{2 \cdot 90 \cdot 1000}{45 \cdot 30 \cdot (7 - 4.1)} = 46 \text{ N/mm}^2 < p_{\text{doz}} = 53 \text{ N/mm}^2$$

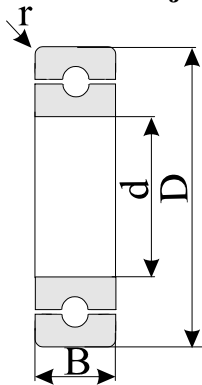
gde je:

$h-t$  - dubina žljeba u podglavku

Površinski pritisak zadovoljava jer je  $p = 46 \text{ N/mm}^2 < p_{\text{doz}} = 53 \text{ N/mm}^2$ .  
Dimenzije klina bi e:  $56 \times 8 \times 7 \text{ mm}$ .



#### 4. Izbor ležaja



$d$  - unutrašnji prečnik (prečnik provrta)  
 $D$  - spoljasnji prečnik (prečnik lezaja)  
 $B$  - sirina lezaja

Na osnovu pre nika provrta ( $d$ ) se iz tablica koje se nalaze u katalogu proizvođača usvaja tip ležaja za koji su date ostale tri dimenzije.

	TIP LEZAJA		
$d$ (mm)	$D$ (mm)	$B$ (mm)	$r$ (mm)

Ekvivalentno (ukupno) opterećenje određuje se na osnovu geometrijskog zbira radijalne  $F_r$  i aksijalne  $F_a$  komponente otpora oslonaca :

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

gde su:

X, Y - uticajni faktori koji zavise od vrste ležaja i uzimaju se iz tablice.

#### 4.1. Trenje , podmazivanje i zaptivanje ležaja

Kotrljajni ležaji imaju prednost u odnosu na klizna jer je trenje kod kotrljanja manje (koeficijent trenja  $m=0.001 - 0.0025$ ).

Podmazivanje se vrši radi smanjenja otpora kotrljanju i klizanju i to :

1.) maš u , za  $n < 3000 \text{ min}^{-1}$  i temperature do  $125^\circ\text{C}$

2.) uljem , za  $n > 3000 \text{ min}^{-1}$  i temperature ve e od  $125^\circ\text{C}$ .

Na ini podmazivanja : preko uljne magle , pomo u kade , fitilja i sl.

Zaptivanje se izvodi da bi se spre ilo prodiranje prašine , vlage , vode u ležaj i izlaženje maziva iz ležaja . Može biti zaptivkama ili labirintno .

Zadatak:

5. Spoj rukavca vratila i provrta ležaja izložen je dejstvu radijalnih sila u dva upravna pravca i to:  $F_{rx} = 3 \text{ kN}$  i  $F_{ry} = 4 \text{ kN}$  i dejstvu aksijalne sile  $F_a = 1 \text{ kN}$  . Ako su uticajni faktori  $X = 1$  i  $Y = 2.5$ , treba odrediti ekvivalentno optere enje ležaja.

Rešenje :

Ukupna radijalna sila u ležaju ( osloncu ) bi e :

$$F_r = \sqrt{F_{rx}^2 + F_{ry}^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ kN}$$

Ekvivalentno opterecenje lezaja bice :

$$F = x \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 5 + 2.5 \cdot 1 = 7.5 \text{ kN}$$

#### 5. Kruta spojnica. Podešena i nepodešena zavrtnajska veza

6. Kruta spojnica sa dva oboda spaja pogonsko i gonjeno vratilo . Veza je ostvorena pomo u 4 vijka za podešenu vezu M8. Ako su:

- dozvoljeni napon na istezanje  $300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

- dozvoljeni napon na smicanje  $150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

- koeficijent trenja 0.2

- otvori za vijke na pre niku 160 mm

- snaga na spojnici 60 kW

- broj obrta vratila  $300 \frac{\circ}{\text{min}}$

Potrebno je na i :

- 1) Proveriti nosivost krute spojnice
- 2) Predložiti mere za poboljšanje nosivosti
- 3) Oznaku (nazivni pre nik) istog broja vijaka za nepodešenu vezu koji mogu preneti optere enje .

Rešenje :

1)

$$F_1 = \tau \cdot A = 150 \cdot \frac{8^2 \pi}{4} = 7540 \text{ N}$$

$$F_{\text{uk}} = N \cdot F_1 = 4 \cdot 7540 = 30160 \text{ N}$$

$$M_s = \frac{P_s}{\omega} = \frac{30 \cdot P_s}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi \cdot 300} = 1918 \text{ Nm}$$

$$F_s = \frac{M_s}{r} = \frac{1918}{0.06} = 31967 \text{ N}$$

Kako je  $F_{\text{uk}} < F_s$  vijci ne mogu preneti potrebno optere enje .

2) Ve i pre nik vijaka, više vijaka , materijal vijaka sa ve im dozvoljenim naponom na smicanje.

$$3) F_1 = \frac{F_s}{N} = \frac{31967}{4} = 7992 \text{ N}$$

$$F_{1 \text{ ist}} = \frac{F_1}{\sim} = \frac{7992}{0,2} = 39958 \text{ N}$$

$$A_3 = \frac{F_{1 \text{ ist}}}{\dagger} = \frac{39958}{300} = 134 \text{ mm}^2$$

Prva ve a tabli na vrednost za površinu jezgra je  $144 \text{ mm}^2$  (data u Tablici za vijke u Praktikum), kojoj odgovara nazivni pre nik 16 mm pa usvajamo zavrtnjeve M 16 .

## 6.Frikciona spojnica. Veza sa dva klina

7. Frikciona spojnica pre nika 200 mm prenosi obrtni moment od 200 Nm .

Ako su: koeficijent trenja 0.25 ; dozvoljeni pritisak  $25 \text{ N/cm}^2$  ; veza sa vratilom ostvorena sa dva ista klina bez nagiba; stepen sigurnosti spojnice 1.2; vratilo od .0545; glav ina od SL,pogon sa slabim udarima .

Potrebno je odrediti :

- 1) Dimenzije frikционе spojnice
- 2) Pre nik spojni kog vratila
- 3) Dimenzije klinova bez nagiba na spojni kom vratilu
- 4) [irinu glav ina spojnica .