

MAŠINSKI ELEMENTI

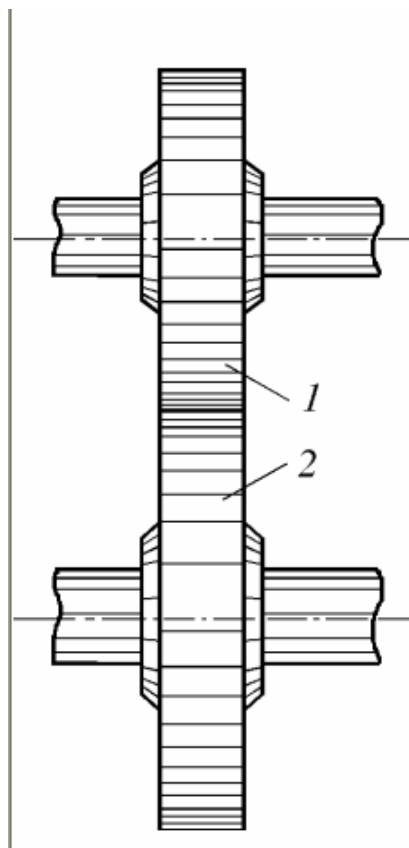
- ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE -

- frikcioni prenosnici -

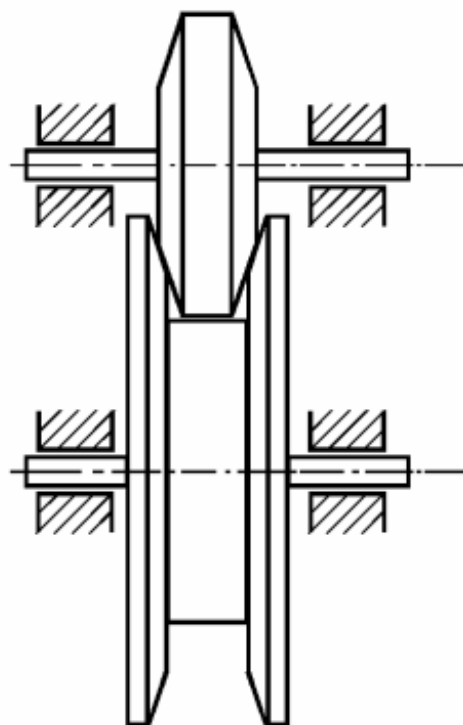
Prof. dr Dragan Milčić

FRIKCIONI PRENOSNICI - OSOBINE

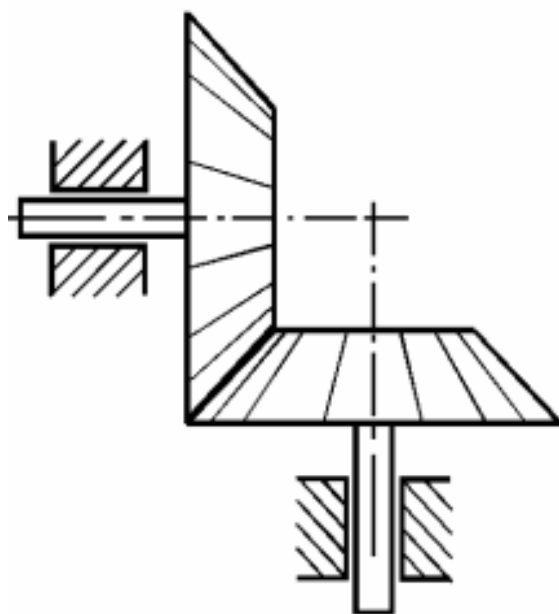
- **Prenos snage neposrednim dodirrom, posredstvom sile trenja**
- **Radne površine opterećene normalnom silom F_n , čime su znatno opterećeni oslonci prenosnika**
- **Nesiguran prenosni odnos**
- **U toku prenosa dolazi do elastičnog i kinematskog**
- **klizanja, što uzrokuje zagrevanje i habanje površina**
- **Osiguranje usled preopterećenja**
- **Mogućnost kontinualne varijacije pren.odnosa**
- **Mala nosivost i relativno velike dimenzije**



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici

Prednosti:

- **Jednostavna i tačna izrada radnih površina frikcionih točkova (cilindar, konus, kružni torus).**
- **Ravnomeran rad bez promene prenosnog odnosa, pa se koriste i kod velikih ugaonih brzina.**
- **Promena smera okretanja bez pojave zazora u prenosniku (za razliku od zupčanika gde postoji bočni zazor).**
- **Bešuman rad, naročito ako su dodirne površine frikcionih točkova izrađene od mekših materijala.**
- **Lako uključivanje i isključivanje u toku rada.**
- **Laka montaža i demontaža.**
- **Mogućnost osiguranja sistema od preopterećenja.**
- **Kontinualna promena prenosnog odnosa, odnosno mogućnost primene kao varijatora.**

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici

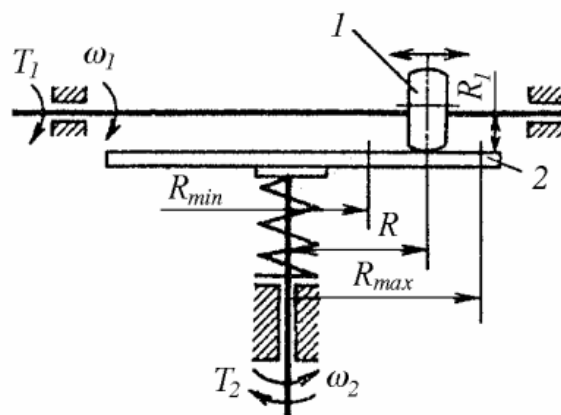
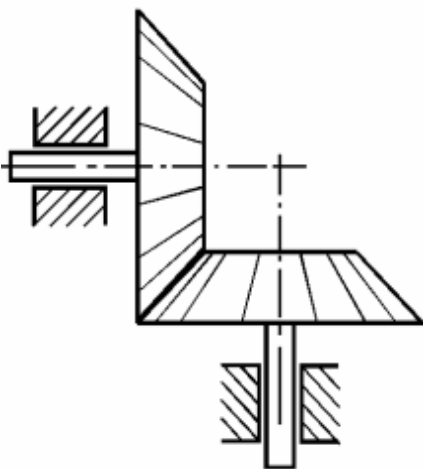
Nedostaci:

- **Veliko opterećenje vratila i oslonaca (zavisno od vrste materijala frikcionih točkova, normalna sila je 1,5...50 puta veća od obimne sile).**
- **Veliki pritisak između dodirnih površina (jer je normalna sila velika, a dodirna površina mala), što ima za posledicu znatno habanje.**
- **Nemogućnost ostvarivanja tačnog prenosnog odnosa zbog klizanja između dodirnih površina (0,2...10%), Slabo prigušenje udarnih opterećenja.**
- **Potreba za uređajem za ostvarivanje odgovarajuće normalne sile.**

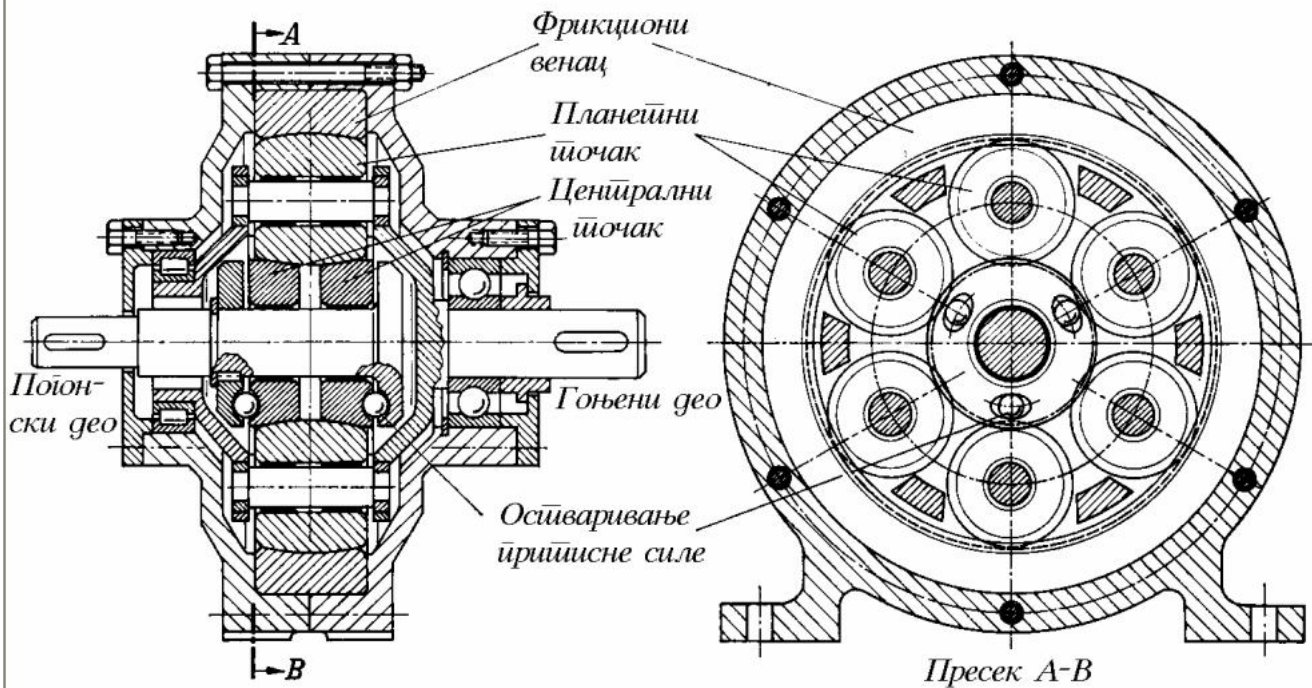
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici

Frikcioni prenosnici mogu se podeliti u dve osnovne grupe:

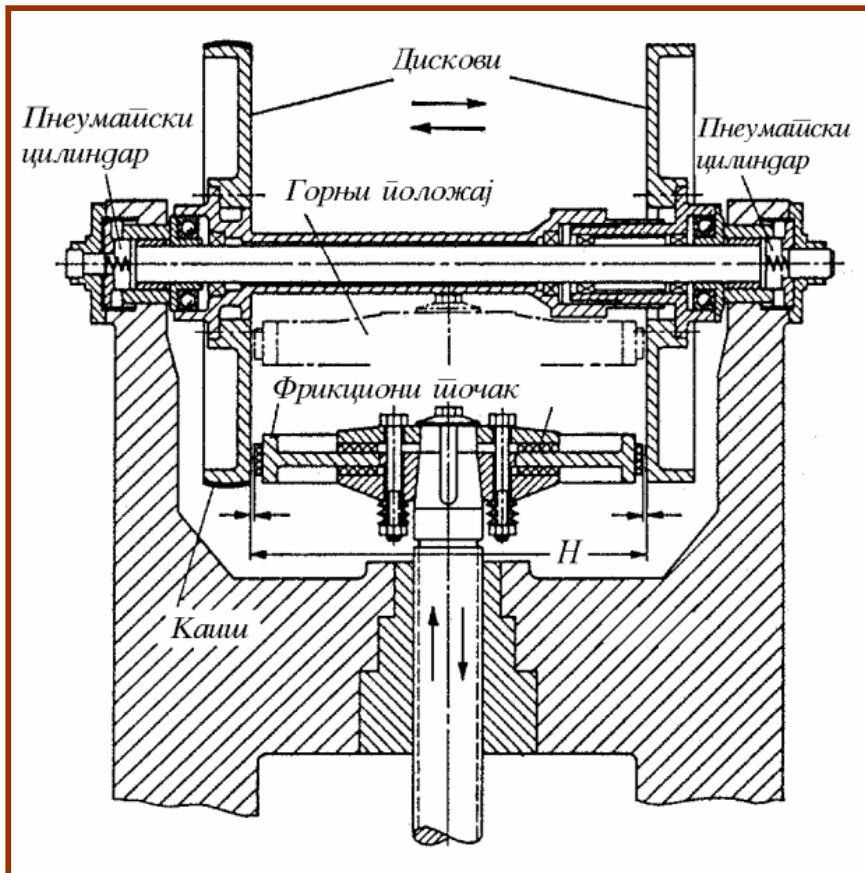
1. prenosnici sa neregulisanim (konstantnim) prenosnim odnosom;
2. prenosnici sa regulisanim (promenljivim) prenosnim odnosom ili varijatori,



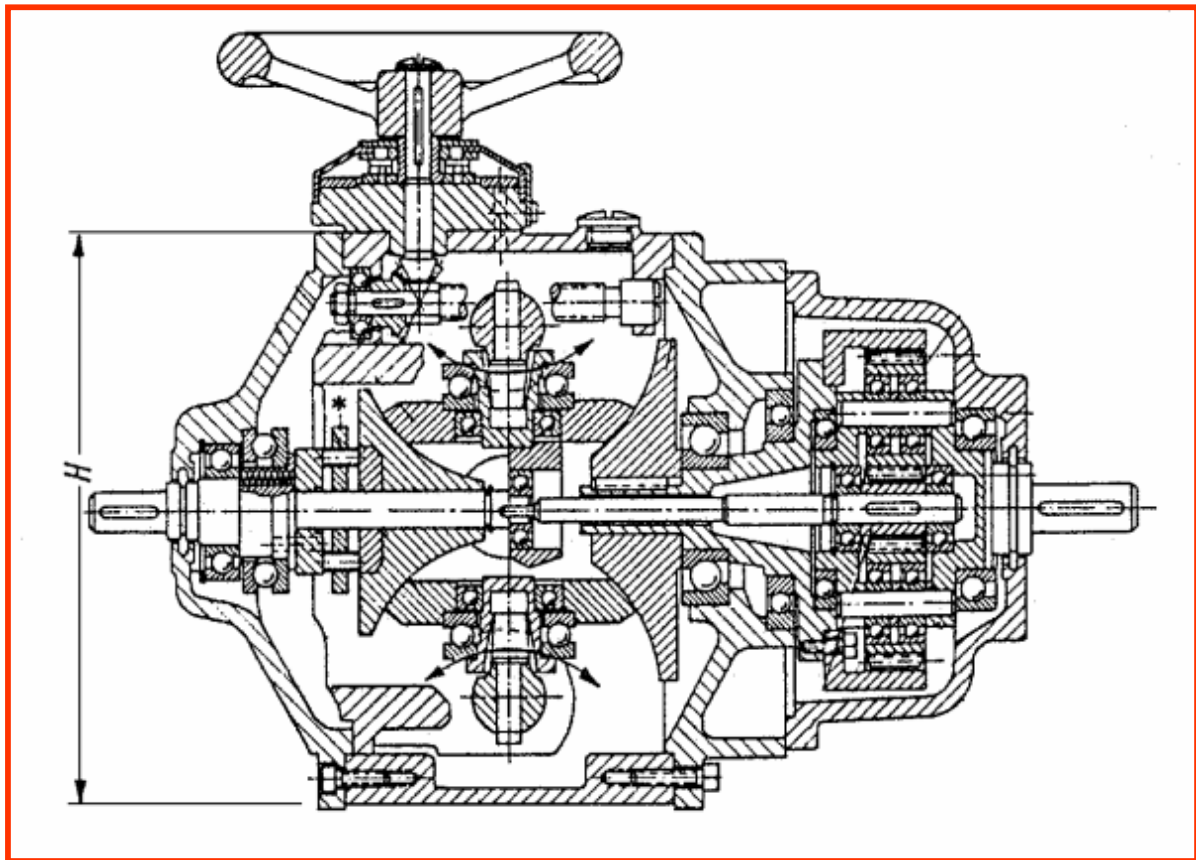
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici



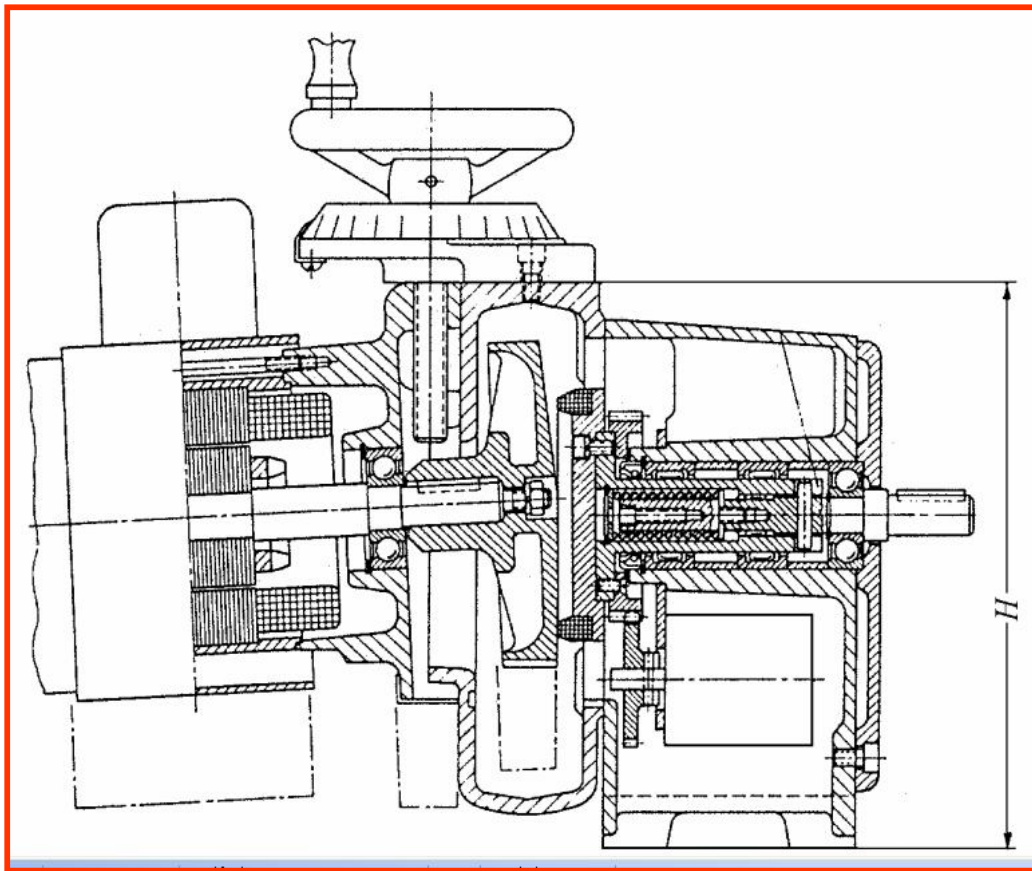
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
 Frikcioni prenosnici



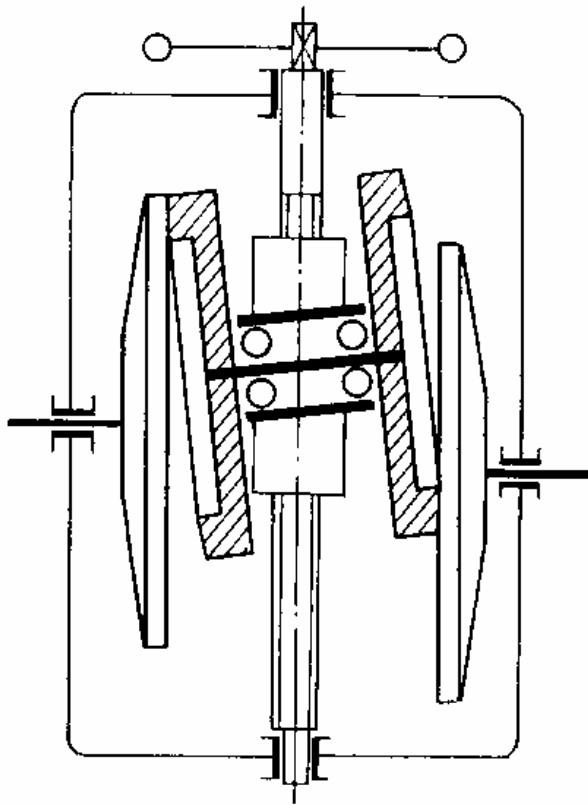
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici



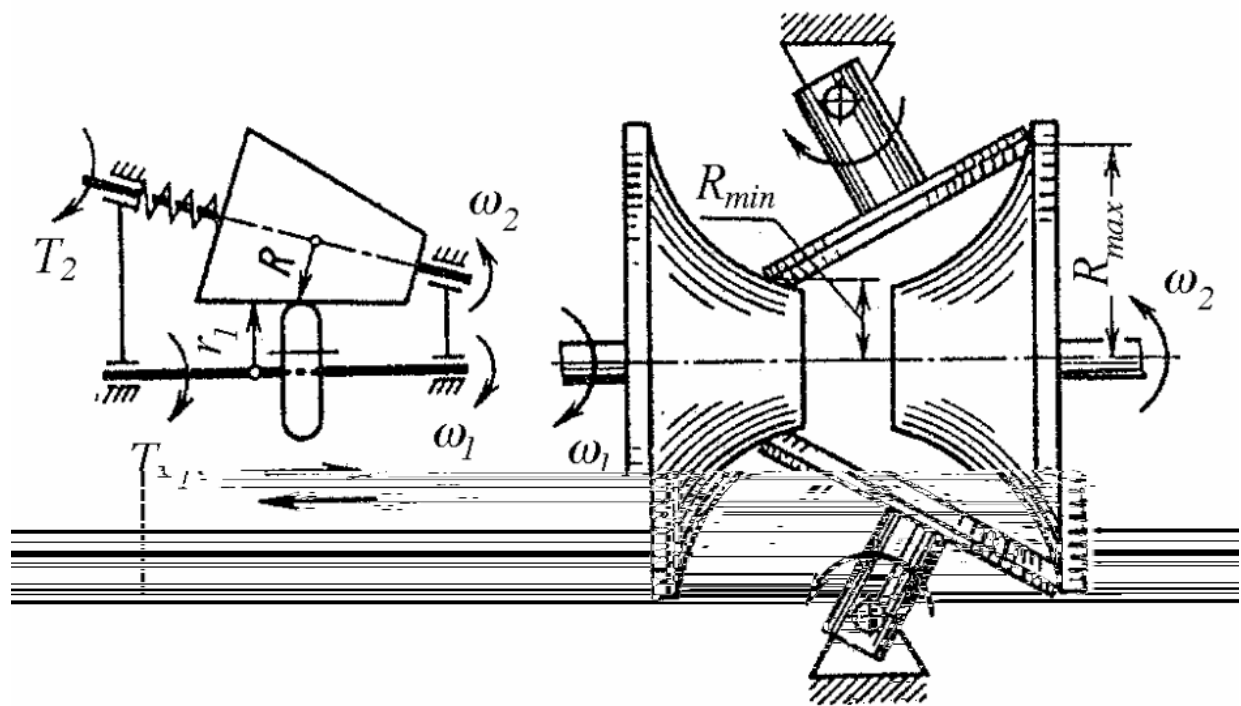
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - varijatori



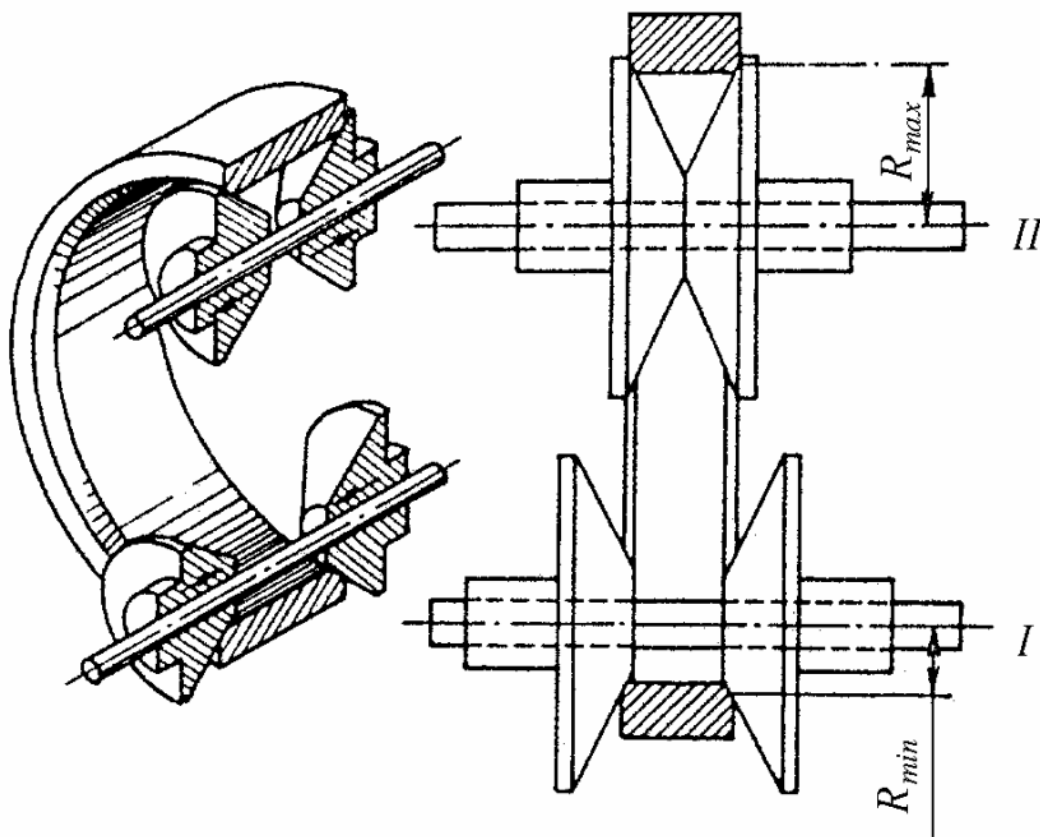
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - varijatori



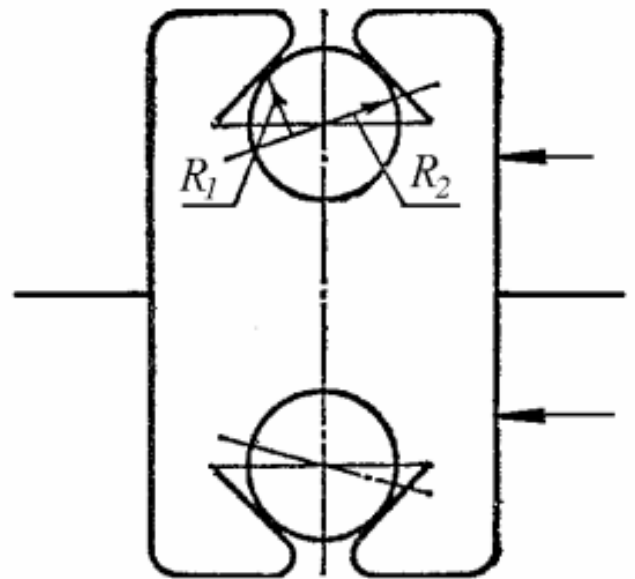
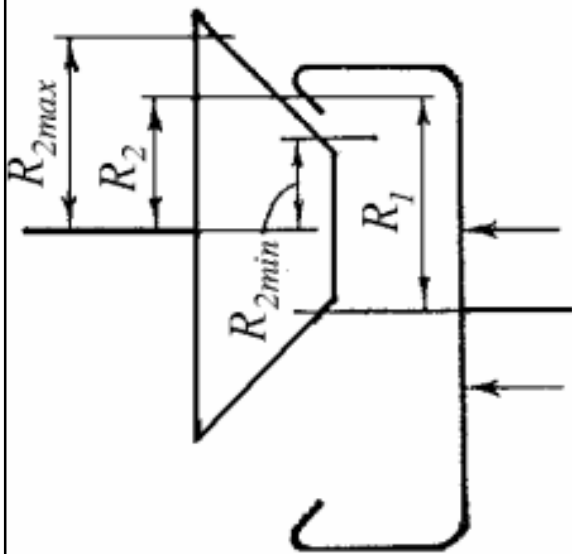
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici -varijatori



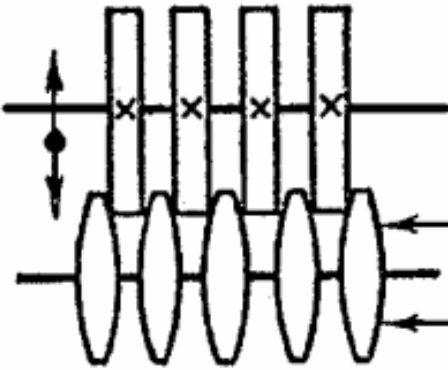
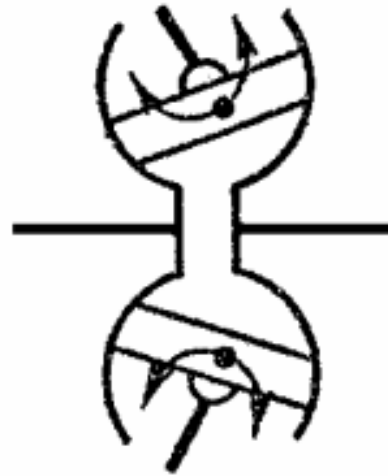
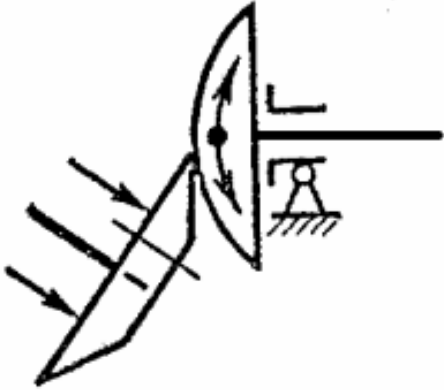
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - varijatori



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - varijatori



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - varijatori



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - varijatori

Od materijala frikcionih točkova zahteva se:

- **Velika otpornost u odnosu na dodirni pritisak i u odnosu na habanje, da bi bio obezbeđen dovoljan radni vek prenosnika (što zadovoljava kaljen čelik).**
- **Veliki koeficijent trenja, da bi za zadatu silu pritiska između dodirnih površina bila obezbeđena velika sila trenja (što se postiže na primer gumom).**
- **Veliki modul elastičnosti, da bi se sprečile elastične deformacije, a samim tim elastično klizanje i gubici energije bili mali (ovaj zahtev najbolje ispunjava čelik).**

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Frikcioni prenosnici - materijali

Kaljeni čelik po kaljenom čeliku:

- **podmazivanje dodirnih površina – smanjeno habanje, veća izdržljivost (kod dodira u tački do $p = 3000$ N/mm²),**
- **mali koeficijent trenja (u proseku je $\mu = 0,03...0,05$),**
- **visoka nosivost i zadovoljavajući radni vek,**
- **mali gubici energije,**
- **brušene i po mogućnosti polirane dodirne površine,**
- **visoka tačnost u pogledu tolerancija oblika,**
- **velike normalne sile - veliko opterećenje vratila.**

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - materijali

Sivi liv po čeliku ili sivom livu:

- **bez podmazivanja dodirnih površina,**
- **koeficijent trenja kreće se oko 0,1,**
- **manja izdržljivost u odnosu na dodirni pritisak i habanje u odnosu kaljeni čelik po kaljenom čeliku,**
- **visoka tačnost izrade,**
- **ne sme doći do zaprljanja ili zamašćivanja dodirnih površina,**
- **sivi liv je pogodan za složene oblike i velike dimenzije frikcionih točkova.**

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - materijali

Presovani materijal po čeliku ili sivom livu:

- bez podmazivanja dodirnih površina,
- koeficijent trenja $\mu = 0,2$,
- dobra otpornost na habanje,
- gubici energije manji u odnosu na kombinaciju guma/čelik,
- bešumni rad,
- ne zahtevaju visoku tačnost izrade dodirnih površina.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici materijali

Guma po čeliku ili sivom livu:

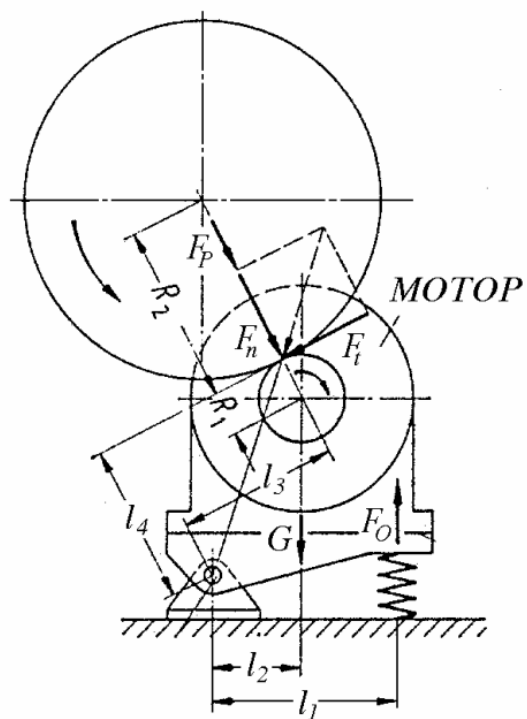
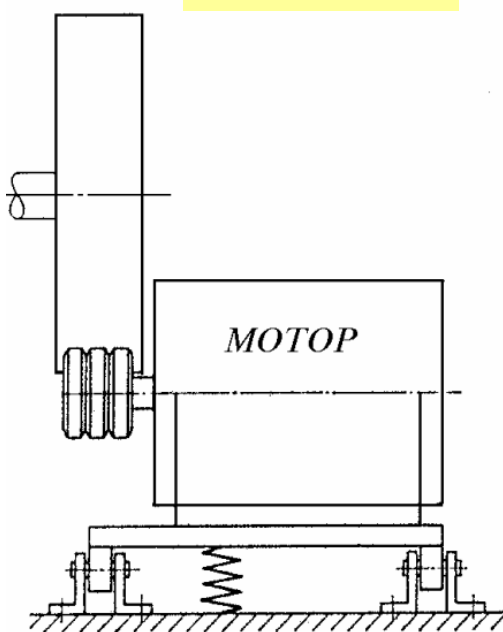
- **vrlo visok koeficijent trenja ($\mu = 0,5...0,7$),**
- **mali modul elastičnosti,**
- **mala izdržljivost u odnosu na dodirni pritisak,**
- **znatni gubici energije,**
- **deformacije dovode do bešumnog rada i do prigušenja udarnih opterećenja i vibracija,**
- **kod zamašćivanja dodirnih površina, dolazi do drastičnog smanjenja koeficijenta trenja,**
- **proklizavanje može dovesti do oštećenja gumene obloge,**

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Frikcioni prenosnici - materijali

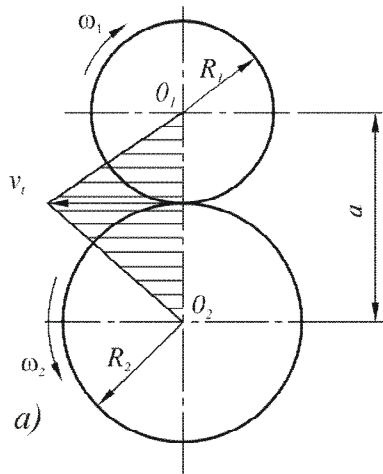
$$F_n = \frac{S \cdot F_t}{S}$$

$$S = 1,4 \dots 2$$



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici – normalna sila

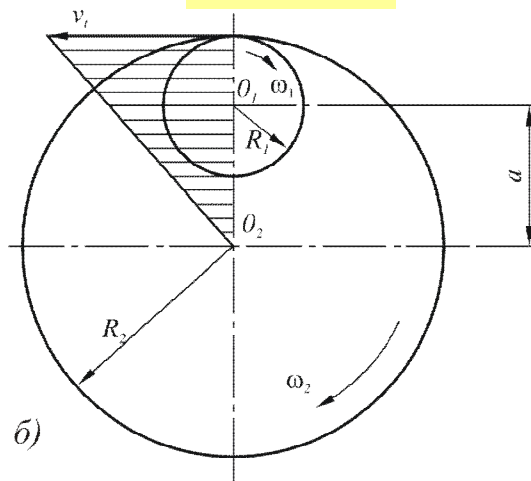
$$i_0 = \frac{1}{2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{R_2}{R_1}$$



$$a = R_1 + R_2$$

$$R_1 = \frac{a}{i_0 + 1}; \quad R_2 = \frac{a \cdot i_0}{i_0 + 1}$$

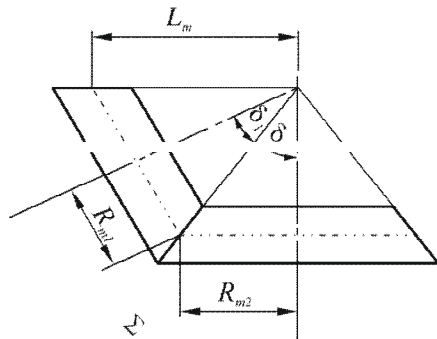
$$u = \frac{1}{2} \geq 1$$



$$a = R_2 - R_1$$

$$R_1 = \frac{a}{i_0 - 1}; \quad R_2 = \frac{a \cdot i_0}{i_0 - 1}$$

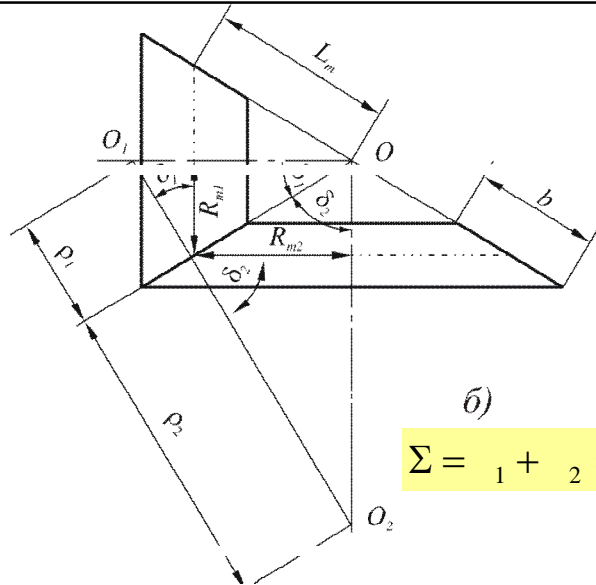
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - kinematika



a) $\Sigma = \delta_1 + \delta_2$

$$\tan \delta_1 = \frac{\sin \Sigma}{i_0 + \cos \Sigma}$$

$$\tan \delta_2 = \frac{i_0 \cdot \sin \Sigma}{1 + i_0 \cdot \cos \Sigma}$$



b)

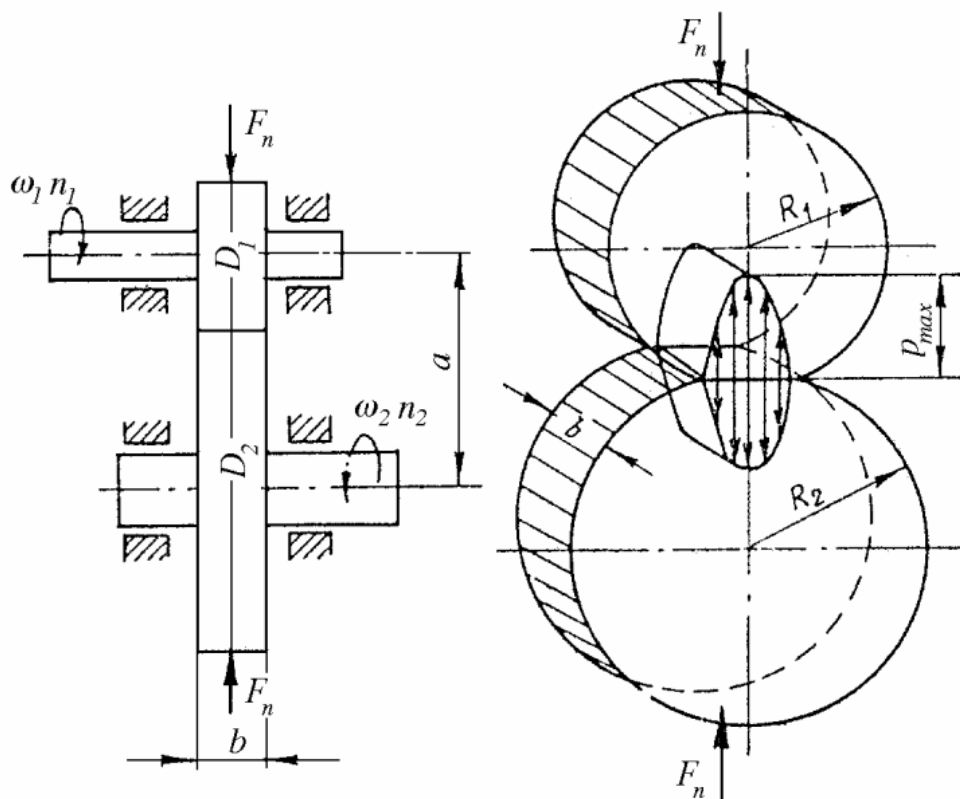
$$\Sigma = \delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$$

$$\tan \delta_1 = \frac{1}{i_0}; \quad \tan \delta_2 = i_0$$

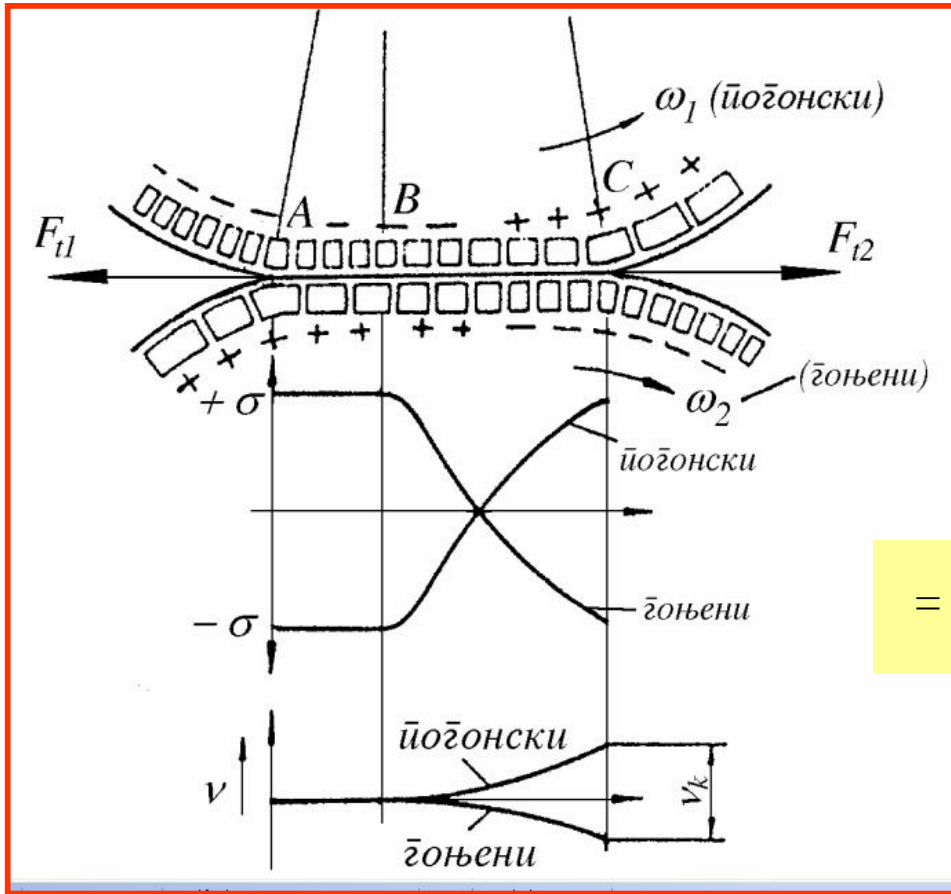
$$i_0 = \frac{R_{m2}}{R_{m1}} = \frac{L_m \cdot \sin \delta_2}{L_m \cdot \sin \delta_1} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1}$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Frikcioni prenosnici - kinematika



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
 Frikcioni prenosnici - elastično klizanje

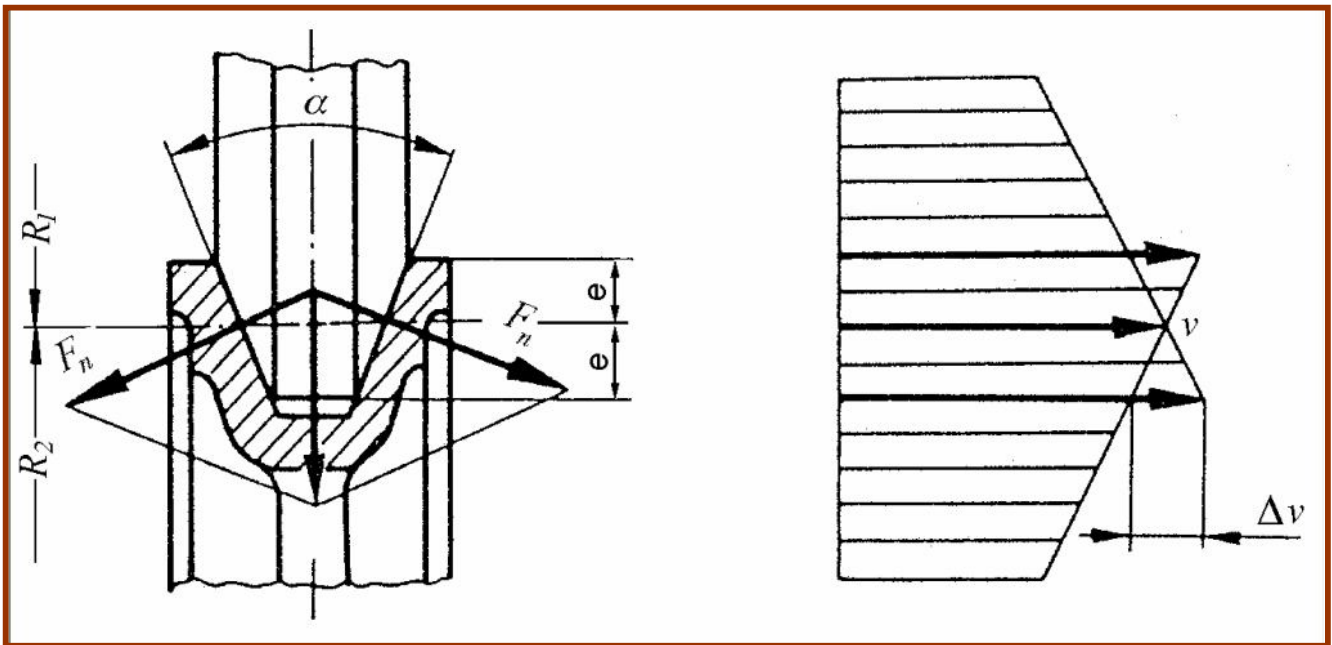


$$i = \frac{i_0}{1 - \dots}$$

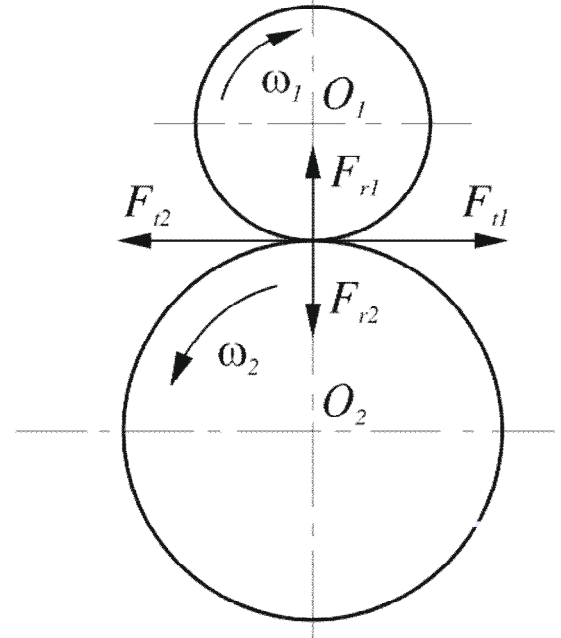
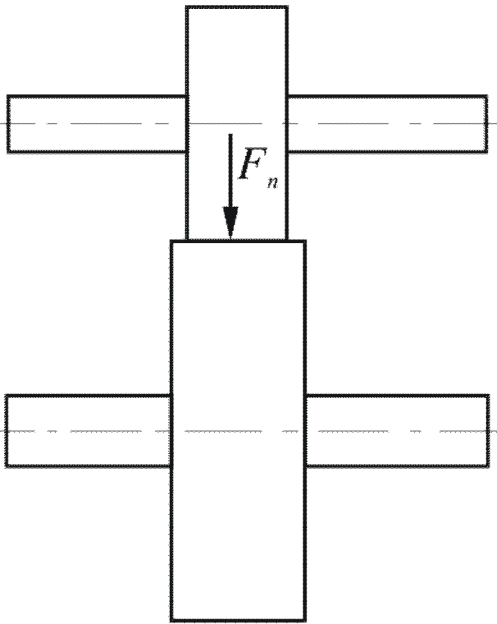
$$= \frac{v_1 - v_2}{v_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
 Frikcioni prenosnici – elastično klizanje

$$\Delta v = v_1 \cdot e \cdot \frac{i_0 + 1}{i_0}$$



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
 Frikcioni prenosnici – kinematsko klizanje



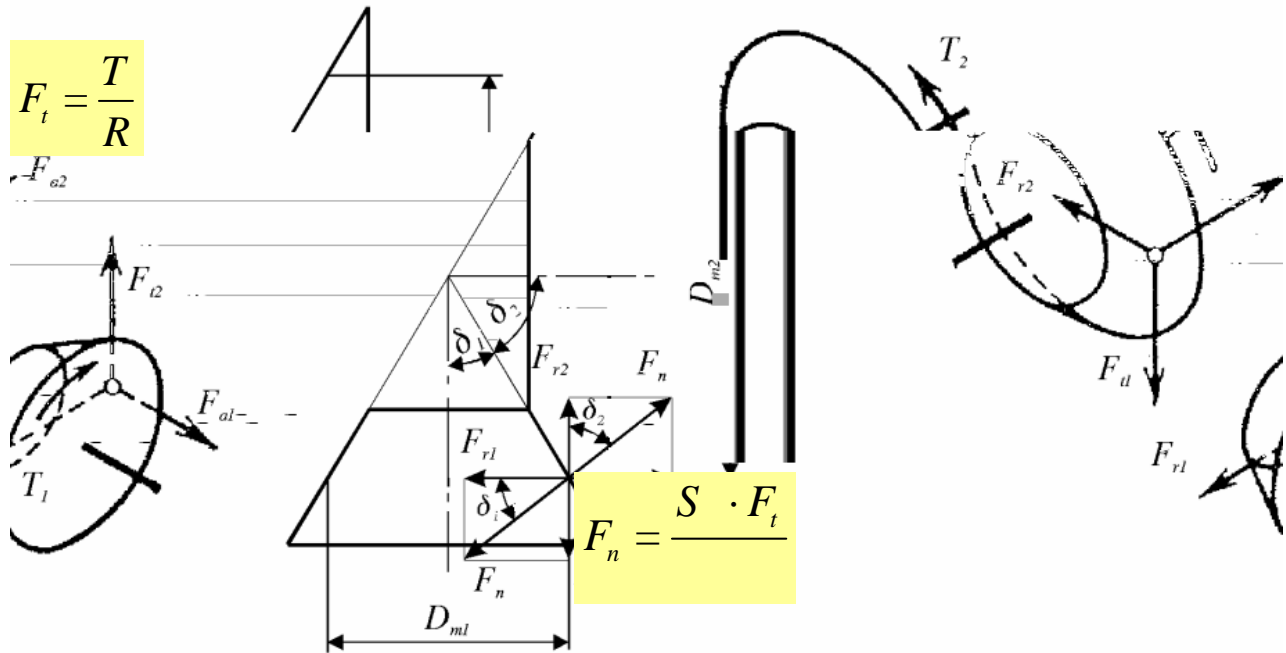
$$F_t = \frac{T}{R}$$

$$F_n = \frac{S \cdot F_t}{S}$$

$$S = 1,4 \dots 2$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - sile

$$F_t = \frac{T}{R}$$



$$F_{r1} = F_n \cdot \cos \delta_1 ; \quad F_{r2} = F_n \cdot \cos \delta_2$$

$$F_{a1} = F_n \cdot \sin \delta_1 ; \quad F_{a2} = F_n \cdot \sin \delta_2$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - sile

$$P_G = P_{GF} + P_{GL} + P_{GO}$$

$$\Sigma = \frac{P_1 - P_G}{P_1} = 1 - \frac{P_G}{P_1}$$

$$\Sigma_F = \frac{P_1 - P_{GF}}{P_1} = 1 - \frac{P_{GF}}{P_1}$$

$$P_{GF} = P_{GE} + P_{GW} = v_1 \cdot \varepsilon \cdot F_n + \frac{v_1 \cdot f \cdot F_n}{R} = \frac{v_1 \cdot F_n}{R} (\varepsilon \cdot R + f)$$

P_{GF} - gubici snage frikcionog para u W;

$R = R_1$ - poluprečnik kinematskog cilindra malog točka

$R = R_{m1} / \cos \delta_1$ - kod konusnog frikcionog para u mm;

v_1 - obimna brzina na malom frikcionom točku u m/s;

f - krak trenja kotrljanja u mm;

ε - klizanje;

μ - koeficijent trenja;

F_n - normalna sila u N.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici – gubici energije

Hercov površinski pritisak za linijski dodir

$$p = 0,418 \sqrt{\frac{K_A \cdot F_n \cdot E}{\rho_I \cdot b}} \leq p_{doz}$$

K_A - faktor radnih uslova;

F_n - normalna sila; $F_n = \frac{S \cdot F_t}{S}$

E - ekvivalentni modul elastičnosti $E = \frac{2E_1E_2}{(E_1 + E_2)}$,

ρ_I - ekvivalentni radijus krivine $\rho_I = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$

b - efektivna širina po kojoj se frikcionni točkovi dodiruju;

p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

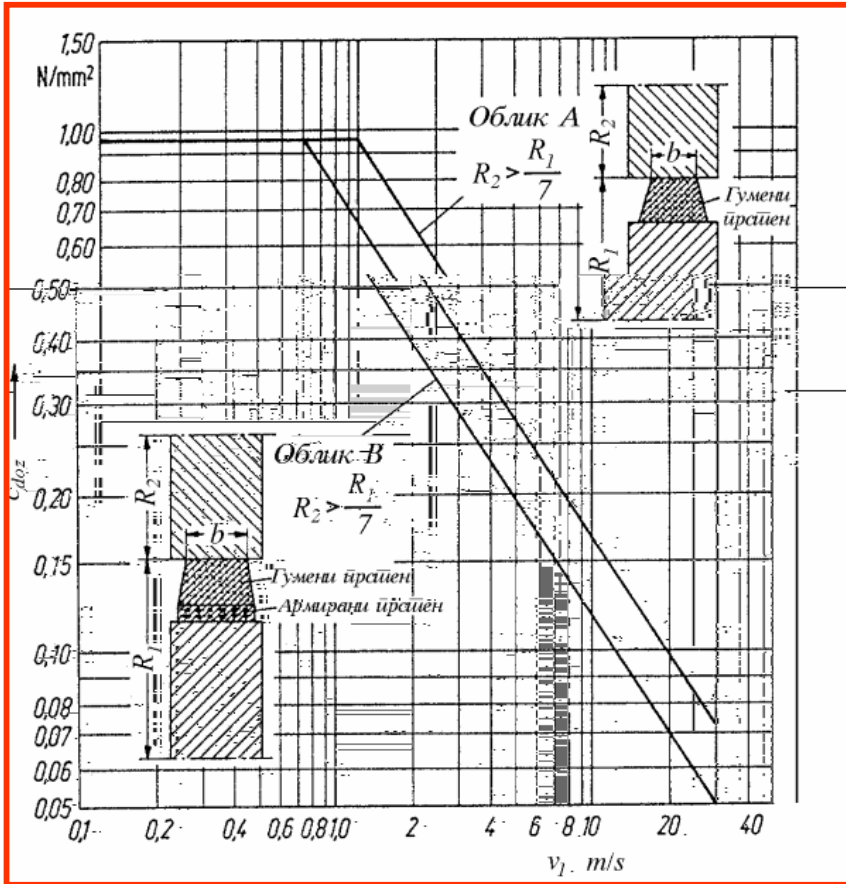
Frikcioni prenosnici - proračun

Stribekov površinski pritisak za linijski dodir

$$k = \frac{K_A \cdot F_n}{2 \cdot I \cdot b} \leq k_{doz}$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Frikcioni prenosnici - proračun



$$F_{ndo\dot{z}} = R_1 \cdot b \cdot C_{doz}$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici

Radni vek frikcionih prenosnika

$$L_h = \frac{V_h}{P_{GF} \cdot f_h} = \frac{2 \cdot R \cdot b \cdot \Delta h}{P_{GF} \cdot f_h}$$

V_h - zapremina habajućeg sloja u mm^3 ;

R - srednji radijus habajuće površine u mm ;

b - merodavna širina dodirnih površina u mm ;

Δh - kritična pohabanost:

$\Delta h = (0,65 \dots 0,75) \delta$ - za obložene frikционе točkove oblogom debljine δ ;

$\Delta h = 0,5 \text{ mm}$ - za varijatore i frikционе točkove bez obloge;

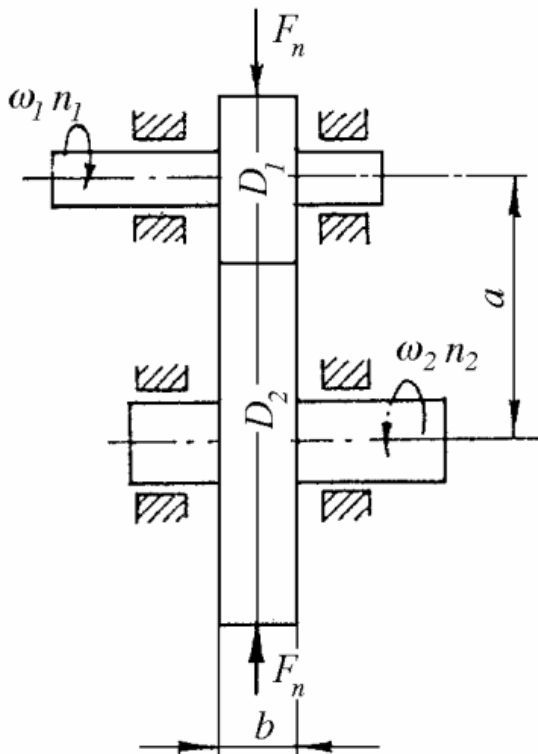
P_{GF} - gubici snage u frikcionom paru u kW ;

f_h - faktor habanja: $f_h = 400 \text{ mm}^3/\text{kWh}$ - za presovani materijal/SL;

$f_h = 20 \text{ mm}^3/\text{kWh}$ - za guma/čelik.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

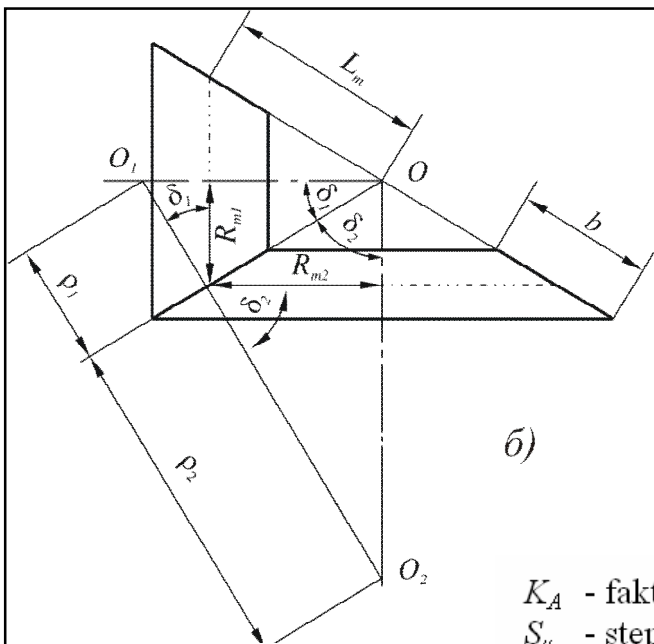
Frikcioni prenosnici – radni vek



$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{0,7 \cdot K_A \cdot S \cdot T_1 \cdot E \cdot (u + 1)}{p_{doz}^2 \cdot \cdot \cdot u}}$$

- K_A - faktor radnih uslova;
- S_μ - stepen sigurnosti protiv klizanja ($S_\mu = 1,4 \dots 2,0$);
- E - ekviv. modul elastičnosti $E = 2E_1E_2/(E_1 + E_2)$;
- T_1 - obrtni moment na malom frikcionom točku;
- ψ - odnos širine i prečnika: $\psi = b/D_1 = 0,2 \dots 0,8$;
- p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak;
- μ - koeficijent trenja;
- u - kinematski prenosni odnos.

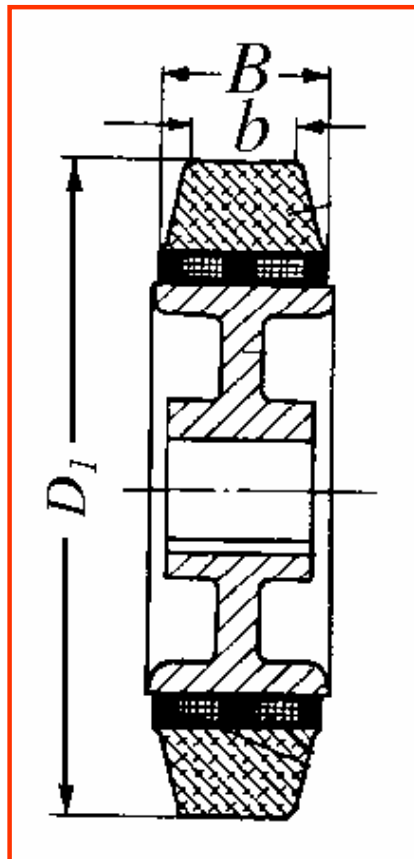
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - prethodni proračun



$$D_{m1} = \sqrt[3]{\frac{0,7 \cdot K_A \cdot S \cdot T_1 \cdot E \cdot (1 + u^2)^{1/2}}{p_{doz}^2 \cdot \cdot \cdot u}}$$

- K_A - faktor radnih uslova;
- S_μ - stepen sigurnosti protiv klizanja ($S_\mu = 1,4 \dots 2,0$);
- E - ekviv. modul elastičnosti $E = 2E_1E_2/(E_1 + E_2)$,
- T_1 - obrtni moment na malom frikcionom točku;
- ψ - odnos širine i prečnika: $\psi = b/D_{m1} = 0,2 \dots 0,4$;
- p_{doz} - dozvoljeni površinski pritisak;
- μ - koeficijent trenja;
- u - kinematski prenosni odnos.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici - prethodni proračun



ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE
Frikcioni prenosnici