



UNIVERZITET U NIŠU
FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU



OSNOVI MAŠINSTVA

- PREZENTACIJA BR. 18 -

Dr Darko Mihajlov, vanr. prof.

SADRŽAJ PREZENTACIJE

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

- Zupčasti prenosnici snage;
- Lančani prenosnici snage;
- Kaišni prenosnici snage;



OSNOVI MAŠINSTVA

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Elementi za prenos snage (**PRENOSNICI SNAGE**) - mašinski elementi koji prenose snagu i obrtno kretanje (obrtne momente) sa jednog vratila na drugo:

➤ zupčanici

➤ lančanici

➤ kaišnici

➤ frikcionni točkovi



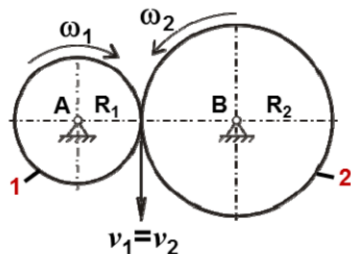
OSNOVI MAŠINSTVA

U prenosnike snage se svrstavaju mašinski elementi koji prenose snagu i obrtno kretanje (obrtne momente) sa jednog na drugo vratilo. To su:

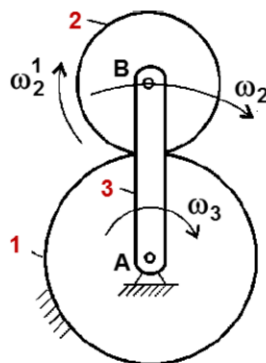
- ❖ zupčanici,
- ❖ lančanici,
- ❖ kaišnici i
- ❖ frikcionni točkovi,

ili jednim imenom - **prenosnici snage**.

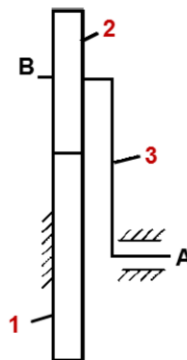
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE



Prenosnici sa nepokretnim geometrijskim osama:
1 – pogonski prenosnik;
2 – gonjeni prenosnik;



Prenosnici sa pokretnim geometrijskim osama
 (planetarni prenosnici):
1 – sunčani prenosnik;
2 – satelit;
3 – nosač;



Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Prenosnici snage mogu da budu:

1. sa nepokretnim geometrijskim osama (sl. levo, ose A i B) oko kojih se prenosnici (1) i (2) obrću, i
2. sa pokretnim geometrijskim osama (sl. desno).

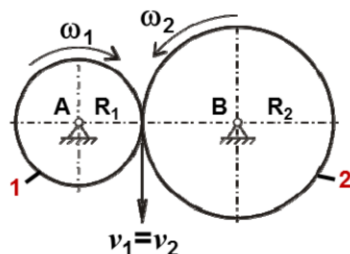
Prenosnici snage sa pokretnim geometrijskim osama su takvi da najmanje jedan prenosnik ima pokretnu geometrijsku osu oko koje se obrće (sl. desno, osa B). Prenosnici sa pokretnim geometrijskim osama nazivaju se **planetarnim prenosnicima**. Planetarni prenosnik se sastoji iz centralnog zupčanika (1), koji može biti nepokretan ili pokretan, zupčanika (2) sa pokretnom geometrijskom osom, koji se zove zupčanik satelit, i nosača (3) koji se obrće i nosi satelit oko spregnutog centralnog zupčanika (1) (sl. desno). Centralni zupčanik (1) naziva se i sunčani zupčanik jer zupčanik satelit kruži oko njega.

Prenosnici obavljaju svoju funkciju samo kada su u paru, odnosno kada su dva prenosnika međusobno spregnuta.

Ovde će se analizirati samo uzajamna zavisnost obrtanja prenosnika snage sa nepokretnim geometrijskim osama.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage



$$v_1 = v_2$$

$$R_1 \omega_1 = R_2 \omega_2$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1} = i$$



Prenosnici sa nepokretnim geometrijskim osama:
1 – pogonski prenosnik;
2 – gonjeni prenosnik;

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Uzajamnost kretanja dva spregnuta prenosnika (zupčanika, kaišnika, lančanika...) dobija se iz jednakosti obimskih brzina dodirnih tačaka $v_1 = v_2$ za slučaj kada nema klizanja, odnosno da je $R_1 \cdot \omega_1 = R_2 \cdot \omega_2$, odakle se dobija relacija $\omega_1 / \omega_2 = R_2 / R_1$, koja definiše odnos ugaonih brzina i veličina spregnutih prenosnika (slika). Ovaj odnos se naziva prenosnim odnosom "i".

Znači, prenosni odnos predstavlja odnos geometrijskih i kinematičkih parametara dva spregnuta prenosnika:

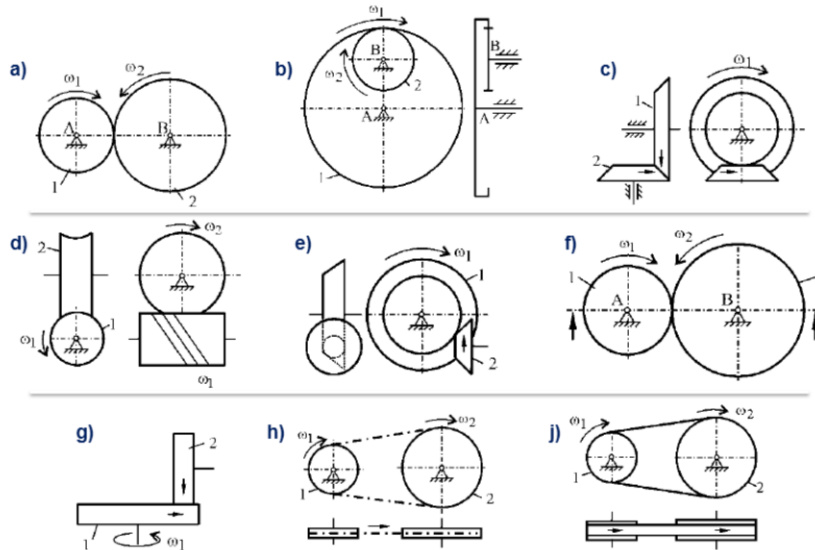
$$i = \omega_1 / \omega_2 = R_2 / R_1,$$

gde indeks 1 označava pogonski član, a indeks 2 gonjeni član; ω_1, ω_2 [rad/s] - ugaone brzine prenosnika; R_1, R_2 [m] – poluprečnici prenosnika.

Obimske brzine spregnutih prenosnika su iste za slučaj da nema klizanja, a ukoliko ono postoji, obimska brzina gonjenog prenosnika je manja od obimske brzine pogonskog za procenat klizanja.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage



Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/vrbode/2458>

OSNOVI MAŠINSTVA

Prenosni odnos može biti pozitivnog i negativnog predznaka. Pozitivan predznak znači da se spregnuti gonjeni prenosnik obrće u istom smeru kao i pogonski, a negativan predznak prenosnog odnosa znači da se gonjeni prenosnik obrće u suprotnom smeru od pogonskog.

Pozitivan prenosni odnos imaju par lančanika (sl. h), par kaišnika (sl. j) i par cilindričnih zupčanika sa unutrašnjim zupčanjem (sl. b).

Negativan prenosni odnos imaju par cilindričnih zupčanika sa spoljašnjim zupčanjem (sl. a), par koničnih zupčanika (sl. c), par cilindričnih frikcionih točkova itd (sl. f).

Pored navedenih, na slajdu su prikazani i drugi tipovi prenosnika snage: d) pužni prenosnik, e) zupčanici za mimoilazna vratila, f) cilindrični frikcionni točkovi.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{z_2}{N_p}$$

$$i = \frac{\omega_1 \cdot \xi}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

ξ [%] – klizanje

$\xi = 0.97$ za kaišne prenosnike

OSNOVI MAŠINSTVA

Prenosni odnos se može odrediti i na osnovu drugih veličina:

$$i = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2 = R_2/R_1 = D_2/D_1 = z_2/z_1 = z_2/N_p,$$

gde su: n_1, n_2 [o/min] - brojevi obrtaja pogonskog i gonjenog prenosnika u jednoj minuti; D_1, D_2 [m] - prečnici; z_1, z_2 - brojevi zubaca; N_p - broj početaka pužnog valjka (puža).

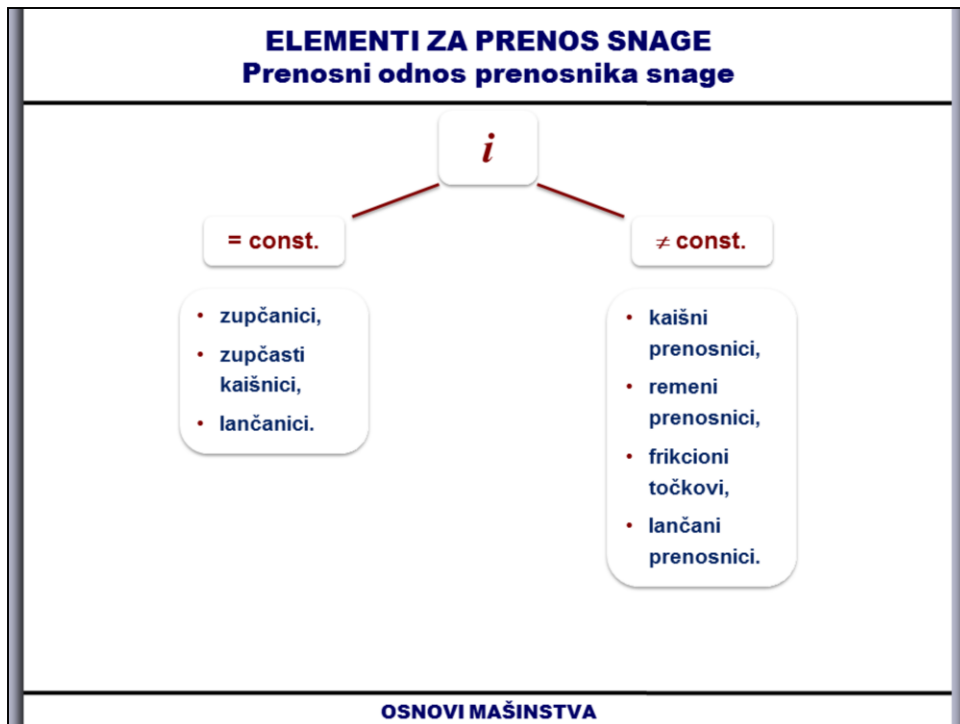
Ako je vrednost prenosnog odnosa po napred datoj definiciji i jednačini jednaka npr. 2 ($i=2$), to znači da je drugi (gonjeni) prenosnik dva puta sporiji i dva puta većih dimenzija od prvog (pogonskog) prenosnika.

Prenosni odnos prema datoj jednačini određuje se za cilindrične i konične zupčanike, pužne prenosnike i lančane prenosnika, kao i za frikcione točkove i kaišne prenosnike ako između njih nema klizanja.

Kada se kod frikcionih točkova i kaišnih prenosnika javlja klizanje, prenosni odnos jednak je:

$$i = (\omega_1 \xi) / \omega_2 = R_2 / R_1,$$

gde je ξ [%] – klizanje koje za kaišne prenosnike iznosi oko 0,97.



Prenosni odnos može biti

- konstantan i
- nekonstantan.

Prenosni odnos je konstantan kod zupčanika, zupčastih kaišnika i kod lančanika (ali samo srednja vrednost).

Prenosni odnos je nekonstantan kod onih prenosnika kod kojih se javlja klizanje između dodirnih površina. Nekonstantan prenosni odnos imaju kaišni i remeni prenosnici, frikcioni točkovi i lančani prenosnici (samo trenutne vrednosti).

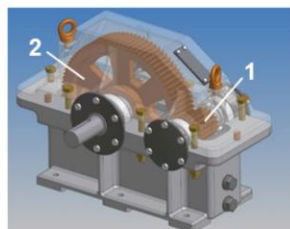
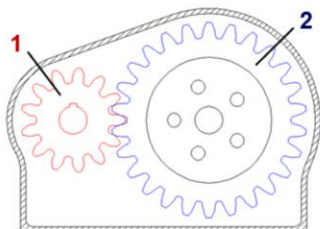
Kada je prenosni odnos nekonstantan, gubici snage su veći, odnosno manji je stepen korisnosti η , što je negativna posledica promenljivog prenosnog odnosa. U ovom slučaju se deo energije transformiše u toplotu nastalu povećanim trenjem između dodirnih površina, tj. deo snage se koristi na savladavanje povećanog trenja usled klizanja.

Nekonstantan prenosni odnos može u nekim slučajevima da bude i prednost, kada se na taj način amortizuju preopterećenja i udari. Kada kod kaišnih prenosnika dođe do preopterećenja, kaiš proklizava i time štiti delove od preopterećenja i eventualnog oštećenja i loma. Pojava klizanja u ovom slučaju ima delimično sigurnosnu ulogu od preopterećenja.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage

$i > 1$ - reduktor



$i < 1$ - multiplikator



Satni mehanizam je multiplikator koji vrlo sporo kretanje satne opruge ubrzava sistemom zupčanika do brzine okretanja sekundne kazaljke.

OSNOVI MAŠINSTVA

Prenosni odnos može biti veći od jedan, manji od jedan, ili jedan ($i > 1$, $i < 1$, $i = 1$).

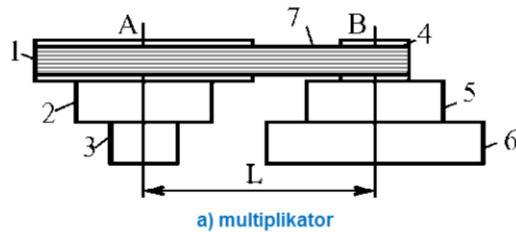
Kada je prenosni odnos $i > 1$, ugaona brzina gonjenog prenosnika je manja od ugaone brzine pogonskog prenosnika, a gonjeni prenosnik veći je od pogonskog ($\omega_2 < \omega_1$, $D_2 > D_1$). Transmisioni uređaji koji imaju prenosni odnos veći od jedan nazivaju se **reduktorima**.

Kada je prenosni odnos $i < 1$, imamo **multiplikator**, gde je gonjeni prenosnik brži i manji od pogonskog ($\omega_2 > \omega_1$, $D_2 < D_1$).

Kada je prenosni odnos jednak jedinici ($i = 1$), brzine i veličine prenosnika su iste ($\omega_2 = \omega_1$, $D_2 = D_1$), odnosno ne postoji redukcija brzine obrtanja.

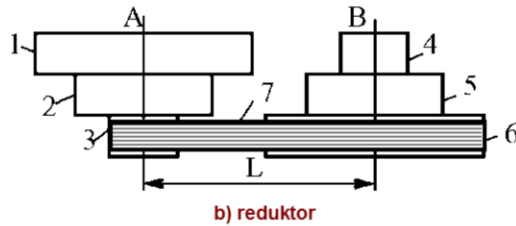
ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage



$$i_{1,4} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{R_4}{R_1} < 1$$

$$i_{2,5} = \frac{\omega_2}{\omega_5} = \frac{R_5}{R_2} = 1$$



$$i_{3,6} = \frac{\omega_3}{\omega_6} = \frac{R_6}{R_3} > 1$$

Remeni varijator sa *stepenastom* promenom prenosnog odnosa

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Na jednom transmisionom uređaju prenosni odnos može biti promenljiv. Ovakve uređaje nazivamo **varijatorima**.

Promena prenosnog odnosa varijatora može biti stepenasta ili kontinualna.

Jednostavan remeni stepenast varijator prikazan je na slici. Na pogonskom vratilu A nalaze se tri remenice: 1, 2 i 3 različitih prečnika. Na gonjenom vratilu B se takođe nalaze tri remenice: 4, 5 i 6 istih prečnika kao na vratilu A, ali suprotno raspoređene po veličini. Kada su remenom 7 spregnute remenice 1 i 4, dobija se **multiplikator** jer je:

$$i_{1,4} = \omega_1/\omega_4 = R_4/R_1 < 1$$

Kada se taj isti remen pomeri na remenice 2 i 5, koje su istih prečnika, nema redukcije kretanja jer je:

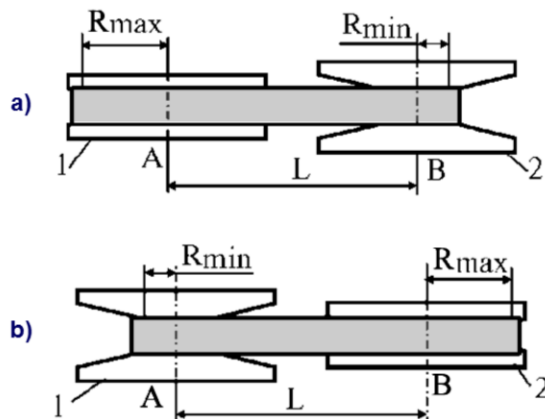
$$i_{2,5} = \omega_2/\omega_5 = R_5/R_2 = 1$$

Kada su spregnute remenice 3 i 6, dobija se **reduktor** jer je:

$$i_{3,6} = \omega_3/\omega_6 = R_6/R_3 > 1$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage



Remeni varijator sa *kontinualnom* promenom prenosnog odnosa

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Varijatori imaju primenu na poljoprivrednim i građevinskim mašinama za kretanje vozila. Za kretanje ovih mašina se koriste varijatori sa kontinualnom promenom prenosnog odnosa zbog potrebe velikog broja različitih vrednosti brzina kretanja, kako bi se mašina prilagodila svim uslovima rada (slika).

Pogonska remenica 1 i gonjena remenica 2 imaju mogućnost razmicanja oboda i na taj način remen zauzima različite položaje na različitim vrednostima poluprečnika.

U primeru pod a) su maksimalno razmaknuti obodi gonjene remenice 2, a maksimalno primaknuti pogonske 1 (dobija se *multiplikator*), jer je prečnik gonjene remenice manji: $R_2 < R_1$, te je $i < 1$.

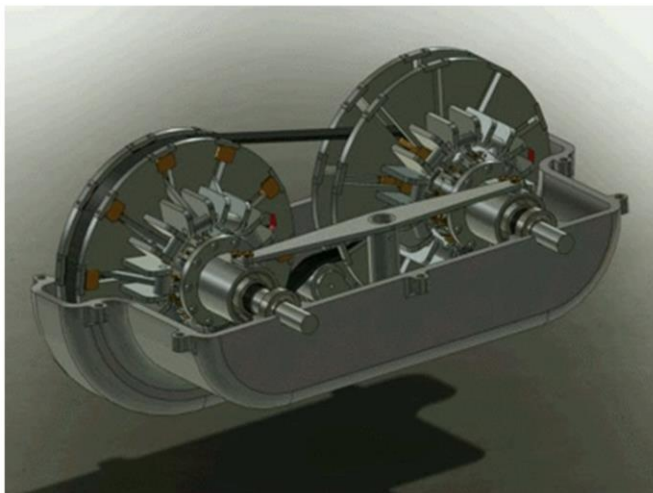
U primeru pod b) su maksimalno razmaknuti obodi pogonske remenice 1, a primaknuti obodi remenice 2, tako da je $R_2 > R_1$ i $i > 1$, pa se dobija *reduktor*.

Promena položaja oboda remenica konstrukciono je tako izvedena da je kontinualna, pa je i promena prenosnog odnosa kontinualna i kreće se u opsegu od minimalne do maksimalne vrednosti:

$$i_{\min} = R_{\min}/R_{\max} \quad , \quad i_{\max} = R_{\max}/R_{\min}$$

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Prenosni odnos prenosnika snage



Remeni varijator sa *kontinualnom* promenom prenosnog odnosa

Izvor: [vario transmission 3D CAD Model Library / GrabCAD](#)

OSNOVI MAŠINSTVA

Na slajdu je prikazana CAD animacija remenog varijatora sa kontinualnom promenom prenosnog odnosa.

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Stepen korisnosti spregnutih prenosnika sa nepokretnim geometrijskim osama

Ulazna i izlazna snaga: $P_1 = P_2$ ako se zanemare gubici usled trenja;

$$M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2$$

$$M_2 = M_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$M_2 = M_1 \cdot i$$

Kod reduktora: $i > 1 \Rightarrow M_2 > M_1$

Kod multiplikatora: $i < 1 \Rightarrow M_2 < M_1$



P_1

P_2

Stepen korisnosti: $\eta = \frac{P_2}{P_1} < 1$ zbog gubitaka snage usled trenja;

Stepen korisnosti

više spregnutih parova: $\eta_u = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n < 1$

OSNOVI MAŠINSTVA

Ako se zanemare gubici usled trenja između dodirnih površina prenosnika, sledi da su snage na pogonskom i gonjenom prenosniku iste, $P_1 = P_2$. Snaga (P) kod obrtnog kretanja je proizvod obrtnog momenta (M) i ugaone brzine: $P = M \cdot \omega$, te je $M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2$, odakle sledi da je $M_2 = M_1 \cdot i$, gde su M_2 i M_1 [Nm] – obrtni momenti na gonjenom i pogonskom prenosniku.

- U slučaju reduktora, kada je $i > 1$, obrtni moment na gonjenom prenosniku M_2 veći je za prenosni odnos i (gonjeni prenosnik je "jači" i sporiji - $M_2 > M_1$).
- Kod multiplikatora, gde je $i < 1$, obrtni moment na gonjenom prenosniku M_2 manji je za prenosni odnos (gonjeni prenosnik je "slabiji" i brži - $M_2 < M_1$).
- Za slučaj kada je $i = 1$, obrtni momenti su isti ($M_2 = M_1$).

Međutim, trenje između dodirnih površina postoji, i snaga koja se koristi za savladavanje trenja se najčešće ne može zanemariti, odnosno postoje gubici snage. Odnos snage koja se mogla koristiti i one koja se stvarno iskoristila za koristan rad predstavlja stepen korisnosti η (stepen korisnog dejstva). Stepenn korisnosti η se može definisati preko različitih veličina, a najčešće se definiše pomoću snage, te je: $\eta = P_2/P_1 < 1$, gde je: P_2 [W] - snaga na gonjenom prenosniku (korisna, izlazna snaga), P_1 [W] - snaga na pogonskom prenosniku (ulazna, potencijalna, maksimalna snaga).

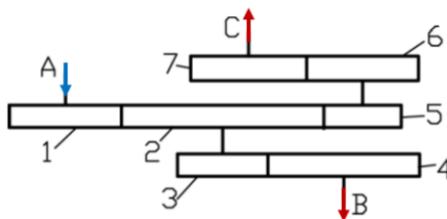
Ukupan stepen korisnosti η_u više spregnutih parova određuje se kao proizvod pojedinačnih stepena korisnosti: $\eta_u = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n < 1$, gde su: $\eta_1, \eta_2 \dots$ - stepeni korisnosti prvog, drugog i n -tog broja spregnutih parova.

Vrednost stepena korisnosti je uvek manja od jedan. Na vrednost stepena korisnosti utiču: vrsta materijala prenosnika, kvalitet obrađenih dodirnih površina, način podmazivanja, vrsta maziva, održavanje itd, a ne utiče to koji je prenosnik pogonski a koji je gonjeni (kada su geometrijske ose nepokretne).

ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Bilansna jednačina snage

Tok kretanja snage:



$$P_A = \frac{P_B}{\eta_B} + \frac{P_C}{\eta_C} = \frac{P_B}{\eta_{12} \cdot \eta_{34}} + \frac{P_C}{\eta_{12} \cdot \eta_{25} \cdot \eta_{67}} \quad (1)$$

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

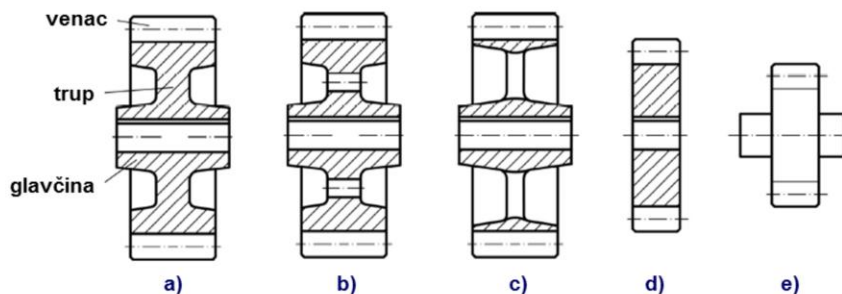
OSNOVI MAŠINSTVA

Snaga na pogonskom prenosniku (ulazna snaga) se raspodeljuje na izlazne (gonjene) prenosnike, zavisno od njihovog otpora i stepena korisnosti prenosnika koji učestvuju u njihovom pogonu.

Bilansna jednačina snage za prenosnik sa slike data je izrazom (1), gde je: P_A [kW] - pogonska snaga (snaga na ulazu u transmisioni uređaj); P_B [kW], P_C [kW] - gonjene snage (snage na izlazu iz transmisionog uređaja); η_B - stepen korisnosti prenosnika do izlaznog vratila B, η_C - stepen korisnosti prenosnika do izlaznog vratila C.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Konstrukcioni oblici zupčanika



- a) stanjeni trup;
- b) trup sa otvorima;
- c) trup sa paocima;
- d) zupčanik u vidu kružne ploče;
- e) zupčanik sa vratilom izjedna.

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Zupčasti prenosnici snage su mašinski elementi koji služe za prenos obrtnog kretanja i snage sa jednog na drugo vratilo. Pritom, vrtila mogu biti:

- međusobno paralelna,
- da se seku ili
- da se mimoilaze.

Zupčanik se sastoji (sl. a) od:

1. **glavčine** (središnjeg dela),
2. **venca** na kome se nalaze zupci i
3. **trupa** koji se nalazi između glavčine i venca.

Glavčina je u sklopu sa vratilom. Trup može biti samo stanjen (sl. a), sa otvorima (sl. b) ili sa paocima (sl. c). Zupčanici malih dimenzija nemaju izraženu glavčinu i trup, već je zupčanik u vidu kružne ploče (sl. d). Zupčanici vrlo malih kinematičkih prečnika se izrađuju zajedno sa vratilom (sl. e).

Zupčanik obavlja svoju funkciju samo kada je u sprezi sa drugim zupčanikom i kada se zajedno obrću i pri tome prenose obrtni moment sa jednog na drugi zupčanik, odnosno sa jednog na drugo vratilo.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

PODELA ZUPČASTIH PRENOSNIKA SNAGE

Prema položaju osa
vratila

Prema pravcu zubaca

Prema pokretnosti osa
obrtanja

Prema obliku boka
zubaca

Prema
konstrukcionom obliku

Prema načinu izrade

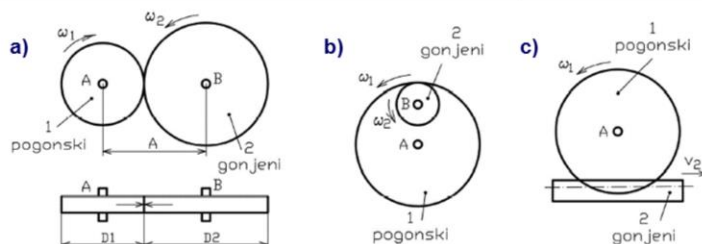
OSNOVI MAŠINSTVA

Zupčasti prenosnici snage se dele:

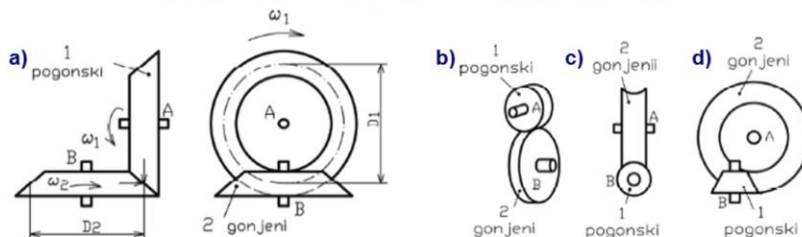
1. prema položaju osa vratila,
2. prema pravcu zubaca,
3. prema pokretnosti osa obrtanja,
4. prema obliku boka zubaca,
5. prema konstrukcionom obliku i
6. prema načinu izrade.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.1 Podela prema položaju osa vrtila



Sl.1 Zupčasti prenosnici za paralelna i mimoilazna vrtila



Sl.2 Zupčasti prenosnici za vrtila koja se seku i mimoilazna vrtila

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

1.1 Prema položaju osa vrtila, zupčanici zupčastih prenosnika snage se dele na:

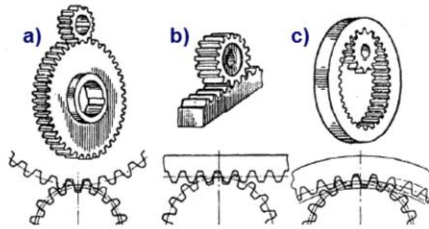
1. Cilindrične zupčanike za paralelna vrtila sa spoljašnjim (sl. 1a) i sa unutrašnjim zupčanjem (sl. 1b);
2. Cilindrične zupčanike sa ravnim zupčanjem (sl. 1c). U sprezi je samo jedan zupčanik sa zupčastom letvom, za razliku od ostalih gde su u sprezi uvek dva zupčanika;
3. Konusne zupčanike za vrtila koja se seku (sl. 2a) i
4. Hiperboloidne zupčanike za vrtila koja se mimoilaze (sl. 2b, 2c i 2d).

Cilindrični zupčanici sa spoljašnjim zupčanjem se obrću u suprotnim smerovima, a zupčanici sa unutrašnjim zupčanjem imaju isti smer obrtanja.

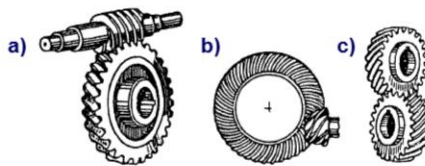
Zupčasti par sa ravnim zupčanjem, zupčanik (1) i zupčasta letva (2) (sl. 1c), obrtno kretanje zupčanika transformišu u ravno kretanje zupčaste letve. U zupčastom paru je jedan od zupčanika pogonski, a drugi je gonjeni (biva pogonjen).

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.1 Podela prema položaju osa vratila



Sl.3 Cilindrični zupčanici sa spoljašnjim, ravnim i unutrašnjim zupčanjem



Sl.4 Zupčanici za mimoilazna vratila

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/noda2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Venac na kojem se nalaze zupci vitalni je deo svakog zupčastog para, bilo sa spoljašnjim (sl. 3a), ravnim (sl. 3b) ili unutrašnjim zupčanjem (sl. 3c).

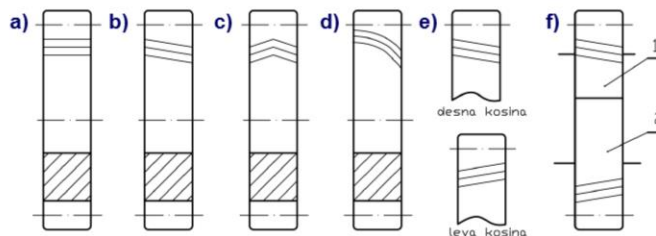
Zupčanici za mimoilazna vratila mogu biti:

- ✓ cilindrični sa zavojnim (helikoidnim) zupcima (sl. 2b i 4c),
- ✓ pužni, koji se sastoji iz cilindričnog pužnog zupčanika (1) i pužnog valjka (2) (sl. 2c i 4a), i
- ✓ konusni sa hipoidnim zupcima (sl. 2d i 4b).

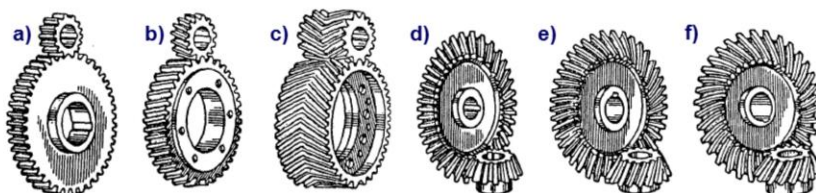
Takođe, i zupčanici za mimoilazna vratila imaju venac sa odgovarajućim ozubljenjem (sl. 4).

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.2 Podela prema pravcu zubaca



Sl.1 Pravci zubaca zupčanika



Sl.2 Pravci zubaca na cilindričnim i konusnim zupčanicima

Izvor: Gligorić R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

1.2 Prema pravcu zubaca, zupčanici se dele na one sa:

- ✓ pravim zupcima (sl. 1a),
- ✓ kosim zupcima (sl. 1b),
- ✓ strelastim zupcima (sl. 1c),
- ✓ zavojnim zupcima (sl. 1d) i
- ✓ spiralnim zupcima (sl. 1f).

Zupčanici sa pravim zupcima (sl. 1a) imaju najširu primenu od cilindričnih zupčanika, jer opterećuju vratila samo sa obimnom i radijalnom silom.

Zupčanici sa kosim zupcima (sl. 1b) se koriste za prenos većih snaga, jer imaju veću dodirnu površinu i postepenije je sprezanje između dodirnih zubaca. Međutim, ovi zupčanici složenije opterećuju vratila i ležaje, dodatno još i sa aksijalnom silom.

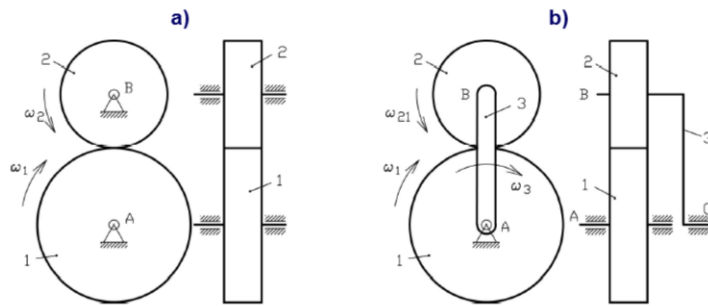
Zupčanici sa strelastim zupcima (sl. 1c) opterećuju vratila sa dve aksijalne sile suprotnih smerova koje se uravnotežuju. Ipak, zbog složenosti izrade, zupčanici sa strelastim zupcima nemaju širu primenu.

Zupčanici sa zavojnim zupcima (sl. 1d) imaju primenu za prenos kretanja na mimoilazna vratila. Kosina zubaca može biti sa desna i leva (sl. 1e). Da bi se dva zupčanika sa kosim zupcima (1) i (2) mogla spregnuti, moraju imati različite smerove kosine zubaca (sl. 1f).

Prikaz kosine zubaca na cilindričnim i konusnim zupčanicima dat je na sl. 2: pod (a i d) zupci su pravi, pod (b) kosi, pod (c) strelasti, pod (e) zavojni i pod (f) spiralni.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.3 Podela prema pokretnosti ose obrtanja



Zupčanici sa nepokretnim (a) i pokretnim (b) osama obrtanja

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

1.3 Prema pokretnosti osa obrtanja, zupčanike delimo na:

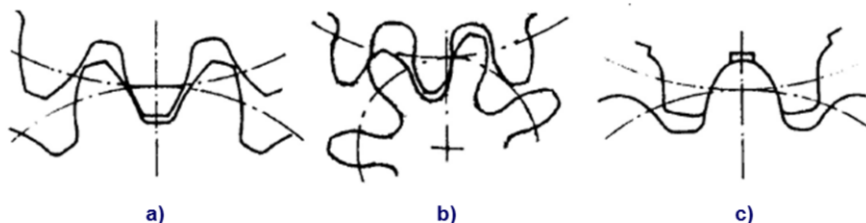
- ✓ zupčanike sa nepokretnim osama obrtanja (sl. a) i
- ✓ zupčanike sa pokretnim osama obrtanja (planetarni zupčanici) (sl. b).

Ose A i B (sl. a) oko kojih se obrću zupčanici (1) i (2) su nepokretne.

Kod zupčanika sa pokretnim osama obrtanja, bar jedan zupčanic ima pokretnu osu obrtanja. Zupčanic (2) koji se naziva satelit, obrće se oko svoje ose B (sl. b) i zajedno sa nosačem (3) oko spregnutog centralnog zupčanika (1) u smeru obrtanja nosača (3).

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.4 Podela prema obliku boka zubaca



Oblici bokova zubaca zupčanika:

- a) evolventni,
- b) cikloidni,
- c) novikovi.

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

1.4 Prema obliku boka zubaca, zupčanike delimo na:

- ✓ evolventne (sl. a),
- ✓ cikloidne (sl. b) i
- ✓ novikove (sl. c).

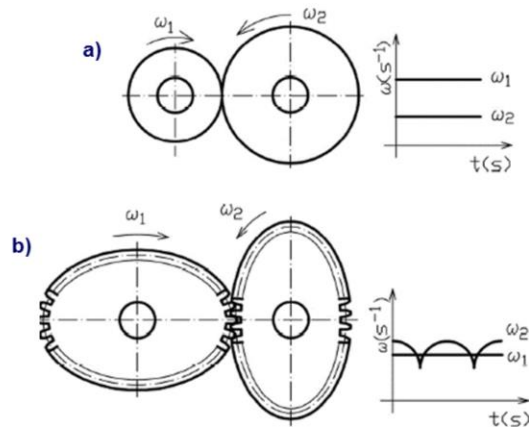
Zupčanici sa evolventnim bokom zubaca imaju najširu primenu jer se lako izrađuju rezanjem na mašinama alatkama.

Zupčanici sa cikloidnim oblikom bokova zubaca imaju bolju i ravnomerniju raspodelu opterećenja po boku, ali se ne mogu praviti rezanjem, već livenjem ili isecanjem, zbog čega imaju ograničenu primenu na male zupčanike.

Bokovi zubaca oblika novikov su od delova kružnica, što je vrlo nepogodno za izradu, pa nemaju širu primenu.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.5 Podela prema konstrukcionom obliku



Ugaone brzine okruglih i neokruglih zupčanika

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sifnode2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

1.5 Prema konstrukcionom obliku, zupčanike delimo na:

- ✓ okrugle i
- ✓ neokrugle.

Okrugli zupčanici imaju najširu primenu. Za okrugle zupčanike je karakteristično da će se pri kontinualnoj ugaonoj brzini pogonskog zupčanika ($\omega_1 = \text{const.}$) i gonjeni obrtati kontinualno, sa ugaonom brzinom ($\omega_2 = \text{const.}$), koja zavisi od prenosnog odnosa i (sl. a).

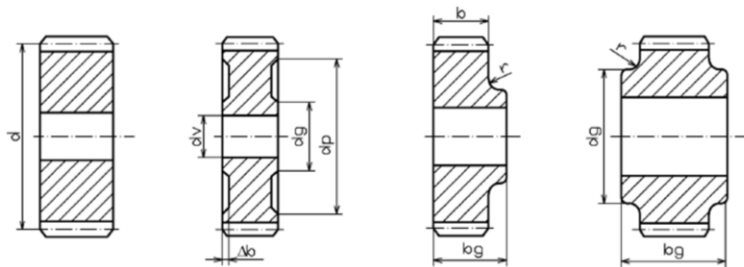
Neokrugli zupčanici imaju neokrugle oblike venaca po kojima se nalaze zupci. Za neokrugle zupčanike je karakteristično to da će se pri kontinualnoj ugaonoj brzini pogonskog zupčanika ($\omega_1 = \text{const.}$), gonjeni obrtati promenljivo, sa ugaonom brzinom koja zavisi od prenosnog odnosa i i oblika venca zupčanika ($\omega_2 \neq \text{const.}$) (sl. b).

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

1.6 Podela prema načinu izrade

Mogući načini izrade zupčanika:

- ✓ rezanjem,
- ✓ kovanjem,
- ✓ livenjem,
- ✓ zavarivanjem i
- ✓ isecanjem.



Konstrukcioni oblici zupčanika izrađeni rezanjem

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

1.6 Prema načinu izrade, zupčanike delimo na one izrađene:

- ✓ rezanjem (slika),
- ✓ kovanjem,
- ✓ livenjem,
- ✓ zavarivanjem i
- ✓ isecanjem.

Najširu primenu imaju zupčanici dobijeni **rezanjem**. Dimenzije venca zavise od modula zupčanika ***m***, bez obzira na način izrade. Modul ***m*** će biti malo kasnije definisan. Ostale dimenzije zavise od kinematičkog prečnika ***d*** i od prečnika vratila ***d_v***. Prečnik vratila ***d_v*** zavisi od opterećenja vratila na tom poprečnom preseku, bez obzira na način izrade.

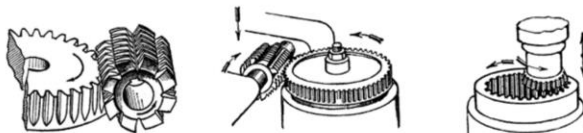
Orijentaciona preporuka za ostale dimenzije zupčanika dobijenih rezanjem (slika) je: širina glavčine $b_g = 1,3 \cdot d_v \geq b$, prečnik glavčine $d_g = 1,6 \cdot d_v$, $d_p = d - 8 \cdot m$, $\Delta b = 0,5 + 0,1 \cdot m$, $r = 0,005 \cdot d_v$.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

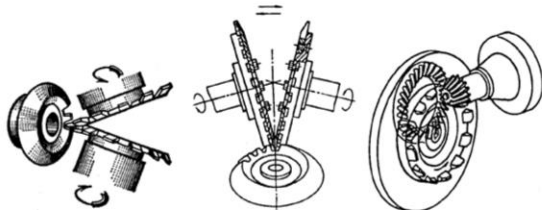
1.6 Podela prema načinu izrade



Sl. 1 Izrada cilindričnih zupčanika rezanjem



Sl. 2 Izrada konusnih zupčanika rezanjem



Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Za izradu zupčanika rezanjem se koriste mašine alatke poput glodalice, rendisaljke i brusilice (sl. 1 i sl. 2). Postoje više metoda za izradu zupčanika kojima se postižu vrlo precizne i manje precizne mere.

Izrada konusnih zupčanika je složenija od izrade cilindričnih zupčanika. Konusni zupčanici se takođe izrađuju rendisanjem i glodanjem, na principu relativog kotrljanja bokova zubaca po pravolinijskom sečivu alata (sl. 2).

Za izradu konusnih zupčanika se koriste postupci kao što su rendisanje pravih i kosih zubaca, glodanje pravih i kosih zubaca i obrada spiralnih zubaca.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Primena zupčanika

- ❖ U prenosu obrtnog momenta mehaničkim prenosnicima, zupčanici učestvuju sa 80 % .
- ❖ Prenos velikih snaga i velikih brzina obrtanja;
- ❖ Prenosni odnos jednog spregnutog para može biti čak do $i \approx 18$;
- ❖ Konstantan prenosni odnos;



- ❖ Skupa izrada - zahtevaju preciznu izradu i termičku obradu;
- ❖ Bučni su i izvor su vibracija;

OSNOVI MAŠINSTVA

Zupčanici se koriste za prenos velikih snaga i velikih brzina. Prenosni odnos jednog spregnutog para je do $i \approx 7$, a može biti i veći, čak do $i \approx 18$, što je daleko više od ostalih prenosnika (lančanika, kaišnika i frikcionih točkova). Ovako veliku vrednost prenosnog odnosa mogu imati oni zupčanici koji se sporo obrću i prenose male snage. Zupčanici imaju konstantan prenosni odnos.

Prenose kretanje na mala rastojanja koje je jednako zbiru poluprečnika spregnutih zupčanika. Zupčanici zahtevaju preciznu izradu i termičku obradu, pa je njihova izrada skupa. Zupčanici su bučni i izvor su vibracija.

Zupčanici se koriste u transmisiji kod prevoznih sredstava i radnih mašina kao što su poljoprivredne i građevinske mašine, kod kojih se primenom zupčastih prenosnika veliki broj obrtaja motora redukuje na mnogo manji broj obrtaja točkova. Različitom kombinacijom sprežanja zupčanika dobijaju se različiti stepeni prenosa i različite brzine kretanja mašina.

Bilo je mišljenja i pokušaja da se mehanički prenosnici snage (zupčasti, lančani i kaišni) zamene sa nekim drugim, npr. hidrauličnim i hidrostatičkim prenosnicima. Hidraulični i hidrostatički prenosnici snage imaju manji stepen korisnosti od mehaničkih i komplikovaniji su za održavanje.

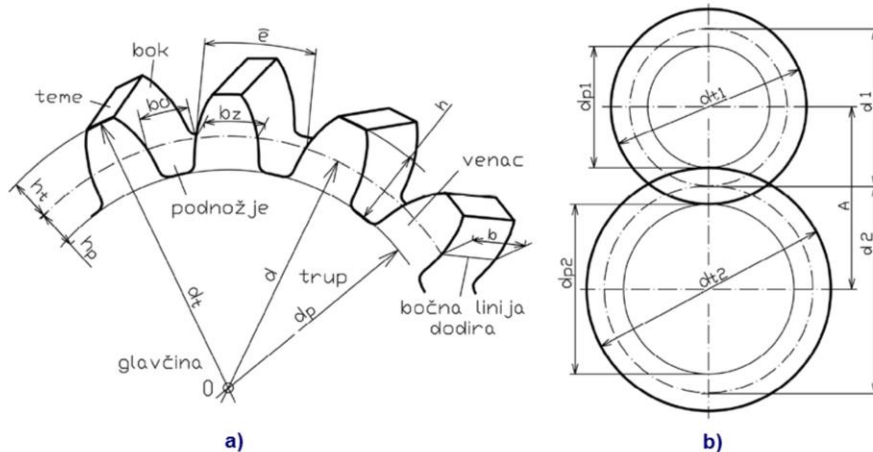
Mehanički prenosnici snage, i pored niza nedostataka, još uvek imaju najširu primenu, što je dovelo do njihovog poboljšanja i usavršavanja. Najveća poboljšanja zupčastih prenosnika snage su u oblasti materijala, izrade i termičke obrade, što je dovelo do veće pouzdanosti i izdržljivosti.

Istraživanja zupčanika usmerena su na smanjenje njihove specifične zapremine, kako bi bila manja od $0,2 \text{ dm}^3/\text{kW}$ prenete snage.

Od ukupno svih potreba za prenosom snage, mehanički prenosnici učestvuju sa nešto manje od polovine. U prenosu obrtnog momenta mehaničkim prenosnicima, zupčanici učestvuju sa 80 % .

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Cilindrični zupčanci sa pravim zupcima



Geometrijski parametri zupčanika

Izvor: Gligorić R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Svi zupčanci se sastoje od venca, trupa i glavčine.

Vitalni deo na zupčanicima je venac, na kome se nalaze zupci.

Spoljašnji ili temeni prečnik d_t definiše teme zupčanika (sl. a).

Unutrašnji ili podnožni prečnik d_p definiše podnožje zupčanika.

Visina zupca h sastoji se iz temene h_t i podnožne visine h_p .

Širina boka b određuje dodir dva zupca dva spregnuta zupčanika.

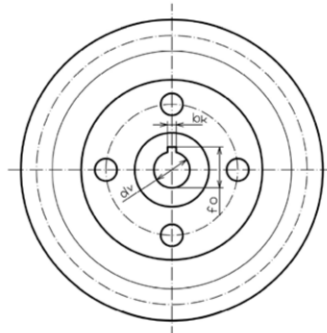
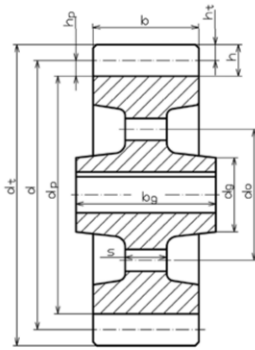
Širina zupca je označena sa b_z , a međuzublja sa b_o .

Kod dva spregnuta zupčanika u dodiru su kinematički prečnici (d_1 i d_2), podnožni i temeni prečnici (d_{p1} i d_{t2}) i (d_{t1} i d_{p2}) sa odgovarajućim tolerancijama mera (sl. b).

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Cilindrični zupčanci sa pravim zupcima



$$e \cdot z = d \cdot \pi$$

$$d = \frac{e}{\pi} \cdot z$$

$$m = \frac{e}{\pi}$$

$$d = m \cdot z$$

Geometrijski parametri zupčanika

$$h_t = m$$

$$h_p = 1,2 \cdot m$$

$$h = 2,2 \cdot m$$

$$d_t = d + 2 \cdot m$$

$$d_p = d - 2,4 \cdot m$$

$$b = \psi \cdot m$$

$$A = \frac{d_p + d_t}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$$

$$d_t = d + 2 \cdot h_t = m \cdot z + 2 \cdot m = m(z + 2)$$

$$\Rightarrow m = \frac{d_t}{z + 2} \quad \text{!}$$

OSNOVI MAŠINSTVA

Ivor Džepić, R. (2015). Matematički elementi. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu. <http://psk.uns.ac.rs/nibode/2488>

Glavčina zupčanika je središnji njegov deo prečnika d_g , koji se nalazi na vratilu. U otvoru glavčine se nalazi žleb za klin širine b_k i dubine f_o (slika). Deo između venca i glavčine je trup prečnika d_o , koji može biti manje širine s od širine venca b , sa otvorima ili sa paocima. Korak zupčanika e je lučno rastojanje između istoimenih tačaka dva susedna zupca mereno po kinematičkom prečniku d . Odnos između koraka zupčanika e , broja zuba z i obima po kinematičkom prečniku d jednak je: $e \cdot z = d \cdot \pi$.

Iz ove jednačine proizilazi da je kinematički prečnik d jednak: $d = (e / \pi) \cdot z$.

Odnos koraka zupca e i broja π naziva se modulom m , tj. $m = e / \pi$.

Sledi da je kinematički prečnik jednak: $d = m \cdot z$.

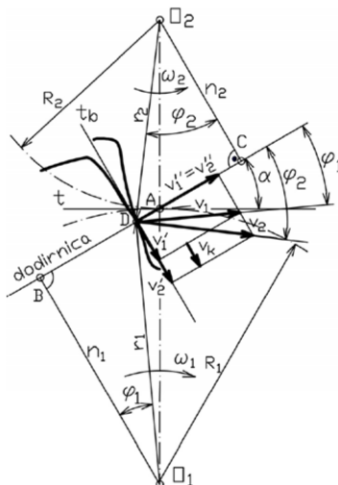
Modul m je osnovna geometrijska i važna dinamička karakteristika zupčanika. Modul ima standardne vrednosti. Sve ostale dimenzije zupčanika određuju se u zavisnosti od modula. Vrednosti svih geometrijskih parametara kod nekorigovanih zupčanika zavise od modula (u funkciji su modula) m , na sledeći način:

- Visina temenog dela zupca h_t jednaka je modulu, $h_t = m$;
- Visina podnožnog dela zupca h_p jednaka je $h_p = 1,2 \cdot m$;
- Ukupna visina zupca $h = 2,2 \cdot m$;
- Temeni prečnik d_t jednak je $d_t = d + 2 \cdot m$;
- Podnožni prečnik d_p jednak je $d_p = d - 2,4 \cdot m$;
- Širina boka b jednaka je $b = \psi \cdot m$, gde je $\psi [-]$ - faktor širine zupca. Vrednost faktora širine zupca kreće se u širokom opsegu $\psi = 6 \div 100$.
- Međuosno rastojanje A jednako je: $A = (d_p + d_t) / 2 = m \cdot (z_1 + z_2) / 2$.

Modul postojećeg zupčanika sa nekorigovanim zupcima može se odrediti merenjem temenog prečnika na osnovu izraza: $d_t = d + 2 \cdot h_t = m \cdot z + 2 \cdot h_t = m \cdot z + 2 \cdot m = m(z + 2)$, odakle je modul $m = d_t / (z + 2)$.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Glavno pravilo zupčanja



$$m_1 = m_2$$

$$e_1 = e_2, \quad h_1 = h_2, \quad b_1 = b_2, \quad b_{o1} = b_{o2}$$

$$v_1 = r_1 \cdot \omega_1$$

$$v_1' = v_1 \cdot \sin \varphi_1 = r_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin \varphi_1$$

$$v_1'' = v_1 \cdot \cos \varphi_1 = r_1 \cdot \omega_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$v_2 = r_2 \cdot \omega_2$$

$$v_2' = v_2 \cdot \sin \varphi_2 = r_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin \varphi_2$$

$$v_2'' = v_2 \cdot \cos \varphi_2 = r_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \varphi_2$$

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/noda2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Da bi dva zupčanika mogla da se spregnu, i da se pritom obrću, treba da imaju iste module $m_1 = m_2$, iste nominalne vrednosti: koraka zubaca $e_1 = e_2$, visina zubaca $h_1 = h_2$, širina zubaca $b_1 = b_2$, širina međuzublja $b_{o1} = b_{o2}$, širina venca $b_1 = b_2$, iste i simetrične dodirnice u odnosu na centralnu tačku A (slika) i simetričan oblik zubaca.

Da bi se zupčanici spregnuli, i obrtali bez uklinjavanja, treba da zadovolje određene zahteve koji proizilaze iz kinematički i geometrijski međusobnih zavisnosti (slika). Bokovi zubaca dva spregnuta zupčanika moraju stalno biti u dodiru. Spajanjem tačaka dodira dva zupca spregnutih zupčanika od trenutka kada ulaze do trenutka kada izlaze iz sprege, dobija se linija koja se naziva **dodirnicom**. Ugao između dodirnice i tangente na kinematičke poluprečnike R_1 i R_2 u tački A naziva se **uglom dodirnice** α .

Pri obrtanju zupčanika (1) ugaonom brzinom ω_1 , tačka dodira D posmatrano na zupčaniku (1) ima brzinu $v_1 = r_1 \cdot \omega_1$ koja je upravna na radijus obrtanja r_1 , a tačka dodira D posmatrano na zupčaniku (2) ima brzinu $v_2 = r_2 \cdot \omega_2$ koja je upravna na radijus obrtanja r_2 . Ako se ove brzine razlože na komponente upravne na dodirnicu i zajedničku tangentu na bokove zubaca t_b , dobijaju se brzine v_1' , v_1'' , v_2' i v_2'' . Vrednosti komponentata brzina su:

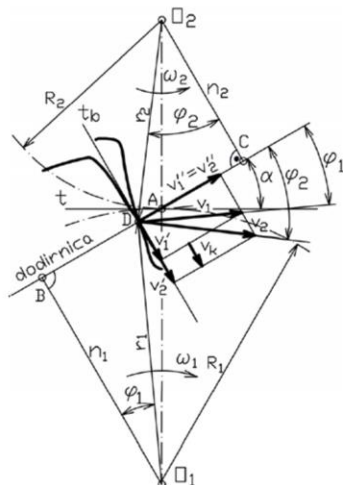
$$v_1' = v_1 \cdot \sin \varphi_1, \quad v_1'' = v_1 \cdot \cos \varphi_1,$$

$$v_2' = v_2 \cdot \sin \varphi_2, \quad v_2'' = v_2 \cdot \cos \varphi_2.$$

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Glavno pravilo zupčanja



$$v_1'' = v_2''$$

$$\left. \begin{aligned} r_1 \cdot \omega_1 \cdot \cos \varphi_1 &= r_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \varphi_2 \\ r_1 \cdot \cos \varphi_1 &= n_1; \quad r_2 \cdot \cos \varphi_2 = n_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Delta O_1DB \sim \Delta O_2DC: \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{r_2}{r_1} \Rightarrow \frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$v_k = v_2' - v_1' = v_2 \cdot \sin \varphi_2 - v_1 \cdot \sin \varphi_1$$

$$v_k = r_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin \varphi_2 - r_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin \varphi_1$$

$v_k = 0$ kada je dodir dva zupca u tački A $\Rightarrow$
A – centralna tačka / trenutni pol brzine

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sifmoda2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Tačke B i C se dobijaju kada se iz središta zupčanika O_1 i O_2 povuku normale n_1 i n_2 na dodirnicu. Na taj način se dobijaju dva slična pravougla trougla O_1DB i O_2DC , čije ivice zaklapaju uglove φ_1 i φ_2 . Da bi zupčanici mogli da se obrću i da zubac jednog zupčanika ne bi prodro u zubac drugog zupčanika, komponente brzina v_1'' i v_2'' treba da su iste, $v_1'' = v_2''$. Sledi da je $r_1 \cdot \omega_1 \cdot \cos \varphi_1 = r_2 \cdot \omega_2 \cdot \cos \varphi_2$, odakle je $\omega_1 / \omega_2 = n_2 / n_1$.

Iz sličnosti trouglova O_1DB i O_2DC sledi da je $n_2 / n_1 = r_2 / r_1$. Kada je tačka dodira u tački A, ovaj izraz predstavlja prenosni odnos $r_2 / r_1 = \omega_1 / \omega_2$.

Komponente brzina v_1' i v_2' u pravcu tangente t_b nisu iste. Javlja se razlika ovih brzina koja se naziva brzinom klizanja v_k i ona je jednaka $v_k = v_2' - v_1' = v_2 \cdot \sin \varphi_2 - v_1 \cdot \sin \varphi_1$.

Budući da je $v_k = r_2 \cdot \omega_2 \cdot \sin \varphi_2 - r_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin \varphi_1$, to znači da zubac jednog zupčanika kliza po zupcu drugog zupčanika. Jedino kada je dodir dva zupca u tački A, brzina klizanja je jednaka nuli, $v_k = 0$. Iz svega navedenog se može zaključiti da je tačka A **trenutni pol** obrtanja dodirnih tačaka dva spregnuta profila zubaca. Tačka A se naziva **centralnom tačkom** i nalazi se u preseku spojne prave osa dva spregnuta zupčanika (O_1O_2) i dodirnice.

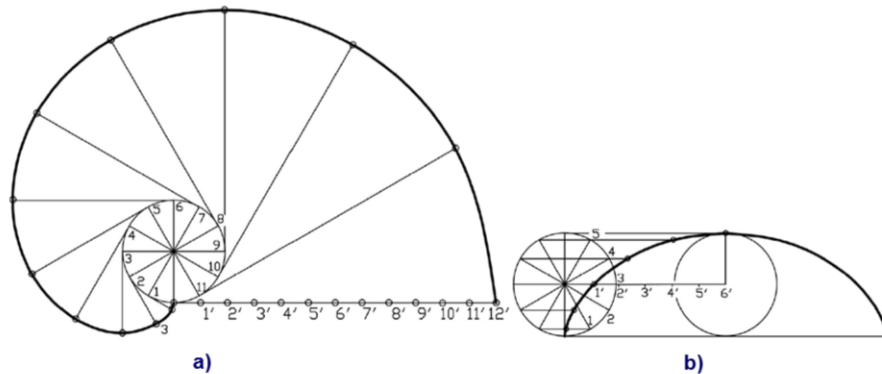
Iz navedene analize sledi da **glavno pravilo zupčanja**, koje definiše međusobnu zavisnost oblika bokova zubaca, glasi: **dodirnica seče spojnu pravu osa dva spregnuta zupčanika O_1O_2 u tački A koja predstavlja trenutni pol brzina.**

Trenutni položaji dodira dva spregnuta boka treba da se nalaze između tačaka B i C (slika). To znači da se za bilo koji oblik boka zupca jednog zupčanika (bilo koja kriva), prema ovom pravilu, može konstruisati oblik boka drugog zupčanika, a da se pri tome obrću bez uklinjanja.

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Glavno pravilo zupčanja



a)

b)

Evolventa (a) i cikloida (b) kao oblici bokova zupčanika

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

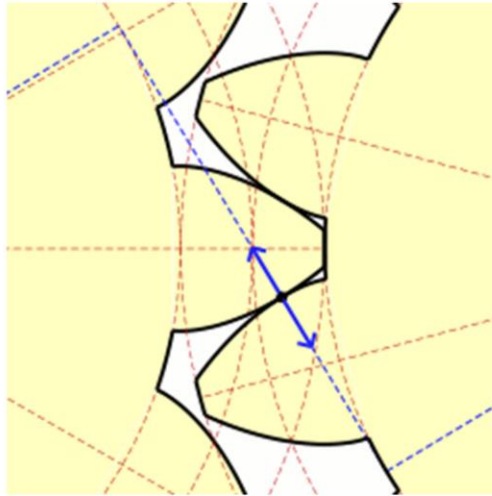
OSNOVI MAŠINSTVA

Za oblik boka zubaca se zbog racionalizacije izrade bira ona kriva koja će biti ista i na onom drugom boku zupca spregnutog zupčanika. To su samo **evolventa** (sl. a) i **cikloida** (sl. b). Pored toga, kada su oblici bokova zubaca evolventa ili cikloida, dodirnica je prava linija.

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Glavno pravilo zupčanja



Izvor: [Зупчаник — Википедија \(wikipedia.org\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Зупчаник)

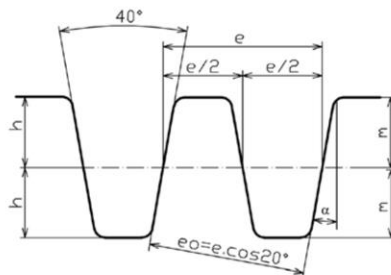
OSNOVI MAŠINSTVA

Na slici je prikazan zupčasti par sa evolventnim bokovima zubaca zupčanika. Pogonski zupčanik je levo, a gonjeni desno. Plava linija prikazuje liniju zahvata, koja je kod evolventnog ozubljenja prava linija.

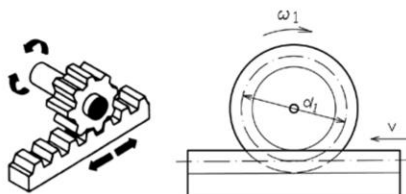
Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Glavno pravilo zupčanja



Standardni profil zubaca zupčanika



Zupčanik i zupčasta letva

Izvor: Gligorić R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

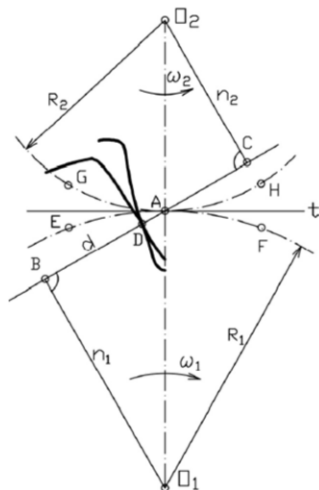
OSNOVI MAŠINSTVA

Za evolventni oblik boka zubaca se koriste različiti delovi evolvente - niži (zakrivljeniji) i viši (manje zakrivljeni), što zavisi od broja zubaca z . Kada bi broj zubaca bio beskonačno veliki, oblik boka zupca bi bio prava linija. Pošto je samo ovaj oblik jednoznačan, usvojen je za standardni profil (sl. gore) koji se koristi na zupčastoj letvi (sl. dole).

Kod standardnog profila, ugao dodirnice je $\alpha = 20^\circ$, a visine zubaca su $h_t = h_p = m$, tj. $h = m$. Pored koraka zupca e , postoji i bočni korak $e_o = e \cdot \cos 20^\circ$. Standardni profil zubaca je na zupčastoj letvi (sl. dole), gde se obrtno kretanje zupčanika, definisano ugaonom brzinom ω_1 , transformiše u pravolinijsko kretanje zupčaste letve brzinom $v = R_1 \cdot \omega_1$. Ugao dodirnice zupčanika može biti nešto veći i nešto manji od standardne vrednosti $\alpha = 20^\circ$.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Stepen sprezanja



$$\varepsilon = \frac{L}{e} > 1$$

$$1: L = EA + AF$$

$$2: L = GA + AH$$

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Nosivost zupčanika određuje **stepen sprezanja** ε koji se definiše kao količnik dužine luka L i koraka zupčanika e :

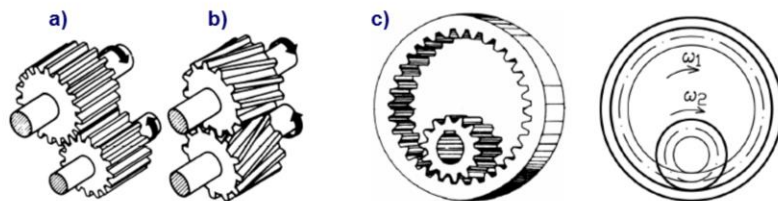
$$\varepsilon = L / e > 1.$$

Dužina luka L , prema slici, jednaka je dužini lukova:

$$L = EA + AF \text{ ili } L = GA + AH.$$

Tačka E predstavlja prvu dodirnu tačku dva zupca pri ulasku u dodir, a tačka F zadnju dodirnu tačku pri izlasku iz dodira posmatrajući zupčanik (1). To se isto odnosi i na tačke G i H , ali posmatrajući zupčanik (2). Vrednost stepena sprezanja cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima treba da je najmanje 1,4. Stepenn sprezanja od npr. $\varepsilon = 1,7$ znači da su 1,7 zubaca u kontaktu i da samo oni nose celokupno opterećenje. Što je stepen sprezanja veći, zupci zupčanika su manje opterećeni.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE



Sl.1 Cilindrični zupčanci sa spoljašnjim i unutrašnjim zupčanjem



Sl.2 Pužni prenosnik

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/index2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Sve navedene geometrijske i kinematičke zavisnosti cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima (sl. 1a) odnose se na cilindrične zupčanike sa kosim zupcima (sl. 1b) i na cilindrične zupčanike sa unutrašnjim zupčanjem (sl. 1c).

Cilindrični zupčanci se koriste i za **pužne prenosnike** koji prenose obrtanje na mimoilazna vratila pod uglom od 90° . Pužni prenosnik se sastoji iz zupčanika (2) i puža (1) (sl. 2). Prenosni odnos pužnog prenosnika je veliki, jer se pri jednom potpunom obrtaju puža (za 360°) zupčanik pomeri samo za jedan zubac ako je broj početaka puža $N_p = 1$, a ako je broj početaka puža $N_p = 2$, zupčanik će se pomeriti za dva zupca.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Pravilno korišćenje i održavanje zupčanika

Pravilno korišćenje zupčanika:

- ✓ Korišćenje zupčanika za predviđene obrtne momente, bez preopterećenja;
- ✓ Korišćenje zupčanika do predviđenih radnih temperatura;
- ✓ Pravilna montaža kako bi se postigla odgovarajuća tolerancija mera međuosnog rastojanja.

Pravilno održavanje zupčastih prenosnika snage:

- Pravilno i redovno podmazivanje prema preporuci proizvođača mašine u koju su zupčanci ugrađeni i prema uslovima rada;
- Stalna kontrola temperature ulja za podmazivanje;
- Kontrola buke;
- Kontrola vibracija;
- Kontrola mera i geometrijskog oblika zupčanika.

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Pod pravilnim korišćenjem zupčanika se podrazumeva:

- ✓ Korišćenje zupčanika za predviđene obrtne momente (snage i ugaone brzine), bez preopterećenja;
- ✓ Korišćenje zupčanika do predviđenih radnih temperatura. U protivnom, kaljeni zupčanci neće više imati potrebne mehaničke osobine;
- ✓ Pravilna montaža kako bi se postigla odgovarajuća tolerancija mera međuosnog rastojanja.

Pravilno održavanje zupčastih prenosnika snage podrazumeva:

- Pravilno i redovno podmazivanje prema preporuci proizvođača mašine u koju su zupčanci ugrađeni i prema uslovima rada;
- Stalna kontrola temperature ulja za podmazivanje;
- Kontrola buke;
- Kontrola vibracija;
- Kontrola mera i geometrijskog oblika zupčanika.

Oštećeni i ishabani zupci zupčanika pokazuju veću buku i vibracije nego neoštećeni. Za merenje buke i vibracija su razvijene metode i uređaji kojima se jednostavno i brzo mogu izmeriti odgovarajući parametri. Na osnovu izmerenih parametara (brzine obrtanja, amplituda vibracija) pomoću mernog uređaja, softverski se procenjuje da li su buka i vibracije u preporučenim granicama. Dozvoljene vrednosti buke i vibracija su određene odgovarajućim propisima. Ako su izmerene vrednosti buke i vibracija u dozvoljenim granicama, tada su zupčanci odgovarajuće geometrije i zadovoljavajuće je podmazivanje.

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Oštećenja zupčanika

Vidovi oštećenja zupčanika:

- rupice,
- otcepljenje,
- habanje (istrošenost),
- zaribavanje,
- nasilni lom zubaca ili
- lom zubaca usled zamora materijala zupčanika.

OSNOVI MAŠINSTVA

Na zupčanicima posle izvesnog perioda rada, a posebno kada se nepravilno koriste, dolazi do različitih vidova oštećenja:

- rupica (pitinga),
- otcepljenja,
- habanja (istrošenja),
- zaribavanja,
- nasilnog loma zubaca ili
- loma zubaca usled zamora materijala zupčanika.

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Oštećenja zupčanika

Uzroci pojave rupica:

- neodgovarajuća termička obrada,
- zamor materijala,
- veliki površinski pritisak usled preopterećenja ...



Oštećenje zubaca u vidu rupica (pitinga)

Izvor: Gligorić R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Pojava **rupica** (*pitinga*) na bokovima zubaca (slika) se javlja pri neodgovarajućoj termičkoj obradi, kao posledica zamora materijala, ili zbog velikog površinskog pritiska usled preopterećenja. Rupice su veličine od nekoliko desetina μm do 0,2 mm. Rupice se najčešće nalaze oko kinematičkog prečnika d prema podnožju zupca. Razlikujemo početni piting i onaj nakon dužeg korišćenja. Početni piting se javlja u samom početku korišćenja kada dolazi do izravnavanja neravnina bokova zubaca nastalih prilikom obrade. Rupice mogu biti i u vidu sitnih pukotina (zareza), koje su posledica površinske hrapavosti usled neodgovarajuće površinske obrade. Nakon stvaranja početnih rupica, prestaje njihovo širenje. Posle nekog perioda rada se rupice ponovo progresivno javljaju, tako da dolazi do drobljenja površina bokova. U rupicama (jamicama) se zadržava ulje za podmazivanje i pri dodiru sa zupcima drugog zupčanika dolazi do velikog pritiska ulja u rupicama, a kako je ulje nestišljivo, rupice se povećavaju i bokovi zubaca oštećuju. Rupice se prvo javljaju na pogonskom zupčaniku, posebno ako je malog prečnika. Ovom vidu oštećenja su manje izloženi zupčanici sa odgovarajućom termičkom obradom (kaljenje, cementacija, nitriranje).

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Oštećenja zupčanika

Uzroci otcepljenja:

- nehomogena struktura materijala,
- prednaponi u zupcima,
- nedovoljno podmazivanje, ...



Oštećenje zuba u vidu otcepljenja

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/noda/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Oštećenje u vidu **otcepljenja (ljuštenja)** na bokovima zuba je poseban vid pitinga.

Otcepljenje ili ljuštenje se prvenstveno javlja usled nehomogene strukture materijala koja nastaje tokom izrade ili termičke obrade. Pri izradi zupčanika može doći do prednapona u zupcima usled zagrevanja bokova zuba, što kasnije dovodi do otcepljenja. Otcepljenje nastaje i usled nedovoljnog podmazivanja, zbog čega dolazi do pregrevanja bokova zuba. Usled pregrevanja se menja struktura materijala i dolazi do njegovog skidanja u vidu brazdi. Skinute čestice materijala odnosi ulje, tako da dodatno progresivno utiču na oštećenja bokova zupčanika.

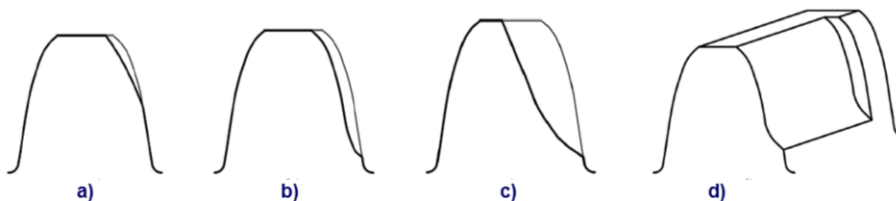
Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Oštećenja zupčanika

Uzroci habanja:

- klizanje između spregnutih zubaca,
- opterećenje zupčanika,
- nepravilno podmazivanje,
- materijal zupčanika,
- veličina zupčanika, ...



Habanje bokova zubaca zupčanika

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Habanje zubaca je stalna pojava i dešava se zbog klizanja između spregnutih zubaca. Habanje se javlja tokom celokupnog rada zupčanika. Pozitivno habanje se javlja samo na početku rada, kada dolazi do razrade zupčanika, jer omogućava ravnomerniju raspodelu opterećenja po bokovima zubaca. Međutim, kasnije, usled habanja, dolazi do istrošenja bokova oko kinematičkog prečnika prema temenu zupca (sl. a). Nakon toga dolazi do istrošenja boka po celoj visini zupca (sl. b). Što je podmazivanje nepravilnije, a opterećenje veće, habanje je intenzivnije, tako da može biti do te mere da se zupci ušpice (sl. c). Ako se usled aksijalnog pomeranja zupčanika po vratilu ošteti osigurač, zupčanici se razmaknu i nisu spregnuti po celoj širini venca, tako da dolazi do neravnomernog habanja po širini zupca (sl. d). Ako u ulju za podmazivanje ima nečistoća (opiljaka, peska, mineralnih materija, ...), javlja se intenzivno abrazivno habanje. Stoga, ulje treba menjati kako bi se, između ostalog, odstranile nečistoće. Habanje je manje ako je podmazivanje pravilno. Zupčanici će se podjednako habati ako su od istog materijala i ako su izrađeni istom tehnologijom,. Nešto više će se habati zupci manjeg zupčanika jer češće dolaze u spregu. Ako su spregnuti zupčanici sa različitim tvrdoćama, više će se habati mekši zupci.

Nastavak...

1. ZUPČASTI PRENOSNICI SNAGE

Oštećenja zupčanika

Uzroci zaribavanja:

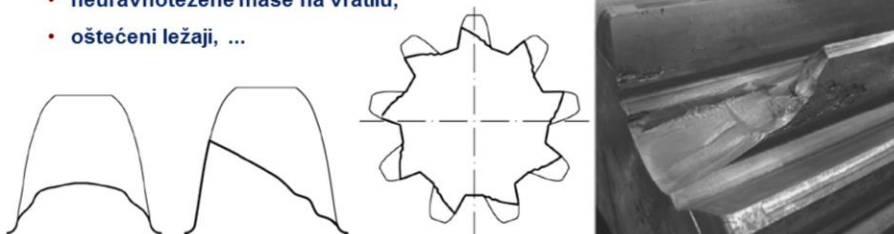
- pregrevanje i topljenje dodirnih površina usled nedovoljnog podmazivanja;

Uzroci nasilnog loma zubaca:

- veliko i udarno preopterećenje,
- veliki ugib vratila,
- neuravnotežene mase na vratilu,
- oštećeni ležaji, ...

Uzroci loma zubaca usled zamora:

- gubitak mehaničkih svojstava materijala;



Habanje bokova zubaca zupčanika

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

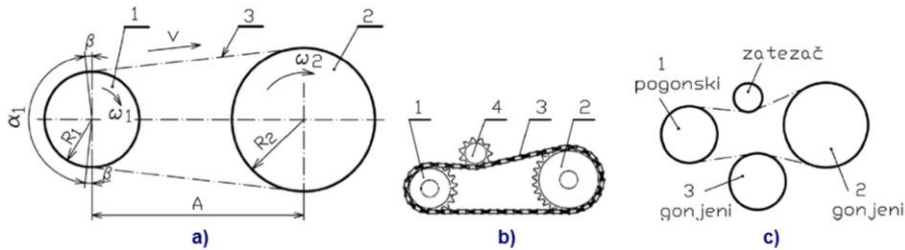
OSNOVI MAŠINSTVA

Zaribavanje nastaje kada dođe do izrazitog oštećenja bokova zubaca u vidu otcepljenja zbog nedovoljnog podmazivanja. Temperatura se toliko povećava da dolazi do pregrevanja i topljenja dodirnih površina, toliko da se zupčanici više ne mogu obrtati.

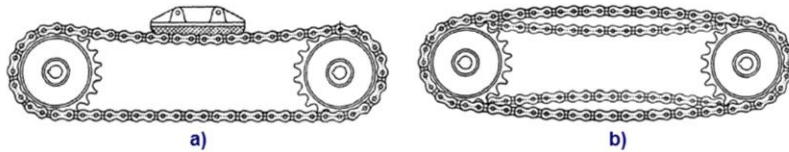
Nasilan lom zubaca nastaje usled velikog i udarnog preopterećenja. Do loma zubaca dolazi i zbog velikih ugiba vratila, neuravnoteženih masa na vratilu, oštećenih ležaja i slično. Pri velikom preopterećenju se može polomiti manji broj zubaca ili svi (slika). Zupci se lome najčešće u podnožnom delu zupca, a dešava se da se zalome i temeni delovi zupca. Nasilan lom zupca je često ispupčen. Kada je lom zupca nasilan, površina preloma je svetle, krupnozrnaste strukture materijala.

Lom zubaca usled zamora materijala zupčanika nastaje posle dužeg perioda korišćenja, kada materijal gubi mehanička svojstva. Lom usled zamora materijala se prepoznaje po tome što je deo površine preloma tamnije boje, a deo prelomljene površine svetlije. Ovakav lom zubaca je često udubljen.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE



Sl.1 Lančani prenosnik snage



Sl.2 Lančani prenosnik sa i bez prigušivača vibracija

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sifnoda2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

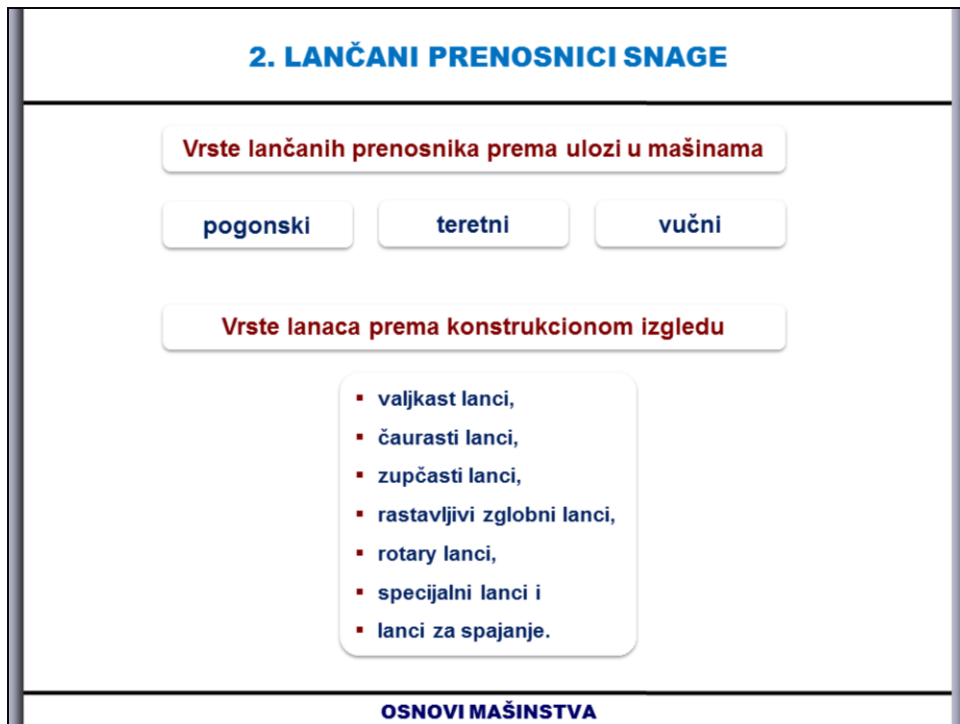
Lančani prenosnici snage se koriste za prenos obrtnog kretanja i obrtnog momenta na veća rastojanja od zupčastih prenosnika ($A \approx 1 \text{ m}$).

Lančani prenosnik se sastoji iz dva lančanika i lanca koji ih spaja (sl. 1). Lančanici po obimu imaju zupce. Vitalni deo na ovom prenosniku je lanac (poz. 3) koji se sastoji iz jednakih i povezanih članaka. Lanci su standardizovani, različitih su oblika, a oblik lanca je prilagođen potrebama mašina. Obrtni moment sa jednog na drugi lančanik se prenosi se lancem.

Pored toga, lančani prenosnik snage može da ima zatezač (sl. 1b, poz. 4) ili prigušivač vibracija (sl. 2a). Sa jednim pogonskim lančanikom se mogu pogoniti više gonjenih lančanika (sl. 1c, poz. 2 i 3).

U slučaju prenosa snage na veća rastojanja A sa većim obimnim brzinama, dolazi do vibracija lanca (sl. 2b) koje se prigušuju prigušivačem.

Lančani prenosnik se koristi za prenos snage ograničenih vrednosti do oko 100 kW, za brzine lanca do oko 20 [m/s], za prenosne odnose do $i \leq 5$. Navedene vrednosti mogu biti i veće. Obvojni ugao manjeg lančanika treba da je $\alpha_1 > 120^\circ$ (sl. 1a). Srednja vrednost prenosnog odnosa je konstantna, dok trenutne vrednosti nisu. Pri jednolikom obrtanju pogonskog lančanika (1), brzina lanca je nejednolika, kao i obrtanje gonjenog lančanika (2). Iz tog razloga se javljaju inercijalne sile koje pored radnih sila dodatno opterećuju lanac i lančanike. Zbog promenljive brzine lanca i velikih specifičnih pritisaka između dodirnih površina lanca i lančanika, dolazi do habanja i istezanja lanca. Lanac treba, po potrebi, zatezati bilo zatezačem, razmicanjem lančanika ili prigušivačem vibracija (sl. 2a).



Prema ulozi lančanih prenosnika u mašinama, lančani prenosnici se dele na:

- pogonske,
- teretne i
- vučne.

Pogonski lančani prenosnici se koriste za najveće snage pri maksimalnim brzinama. Jedan pogonski lančanik može istovremeno da pogoni više gonjenih. Ovi lančani prenosnici imaju najširu primenu.

Teretni lančani prenosnici se koriste za podizanje tereta kod dizalica, za vitla, koturače i slične uređaje. Koriste se za velika opterećenja i male brzine.

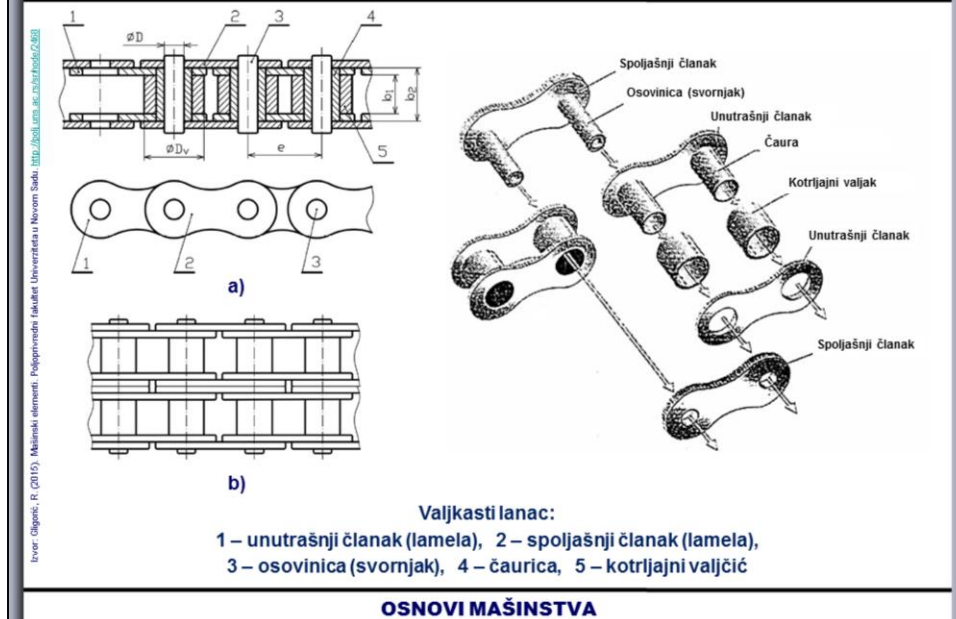
Vučni lančani prenosnici se koriste za pogon elevatora, transportnih traka i uređaja, i za slične potrebe.

Prema konstrukcionom izgledu lanaca lančanih prenosnika snage, lance delimo na:

- valjkaste,
- čauraste,
- zupčaste,
- rastavljive zglobne lance,
- rotary lance,
- specijalne lance i
- lance za spajanje.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

2.1 Valjkasti lanci



Lančani prenosnici snage sa valjkastim lancima imaju najširu primenu od lančanih prenosnika. Članak valjkastog lanca se sastoji iz unutrašnje lamele (sl. a, poz. 1), spoljašnje lamele (2), osovinice (3), čaurice (4) i valjića (5).

Lanac može biti jednoređan, dvoređan (sl. b), troređan ili višeređan. Kod dvoređnog i troređnog lanca zajednička je osovinica koja ih spaja.

Osnovni parametar lanca je korak e koji ima standardne vrednosti. Ostali geometrijski parametri su: b_1 - unutrašnja širina članaka, b_2 - spoljašnja širina članaka, D - prečnik osovinice, D_v - prečnik valjića. Vrednosti navedenih parametara zavise i određeni su korakom lanca e .

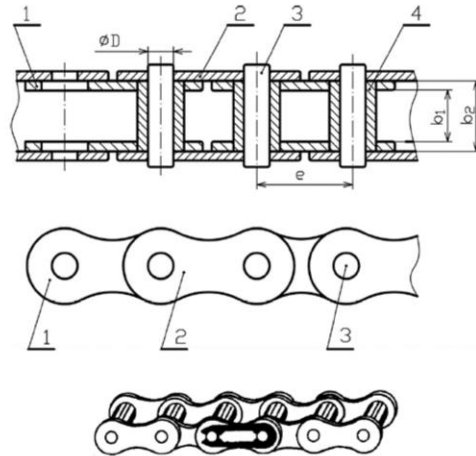
Da bi lanac pravilno funkcionisao, potrebno je da između valjića i čaurice bude labavo naleganje (da postoji zazor), a da je čvrsto naleganje (da postoji preklap) između čaurice i unutrašnje lamele i između osovinice i spoljašnje lamele.

Valjkasti lanci se izrađuju u više standardnih varijanti: valjkasti lanci za povećana opterećenja, valjkasti lanci sa dugim člancima, valjkasti lanci za poljoprivredne mašine itd.

Lanci se međusobno razlikuju po međusobnom odnosu geometrijskih parametara: e , b_1 , b_2 , D i D_v . Za istu vrednost standardnog koraka e ima više standardnih širina članaka b_1 , b_2 i ostalih osnovnih karakteristika lanca.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

2.2 Čaurasti lanci



Čaurasti lanac:

1 - unutrašnja lamela, 2 - spoljašnja lamela, 3 - osovinica, 4 - čaurica

Izvor: Gligorić R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

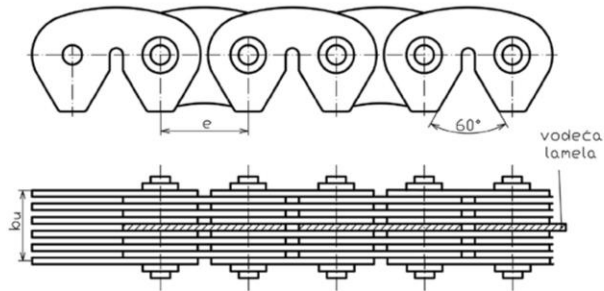
OSNOVI MAŠINSTVA

Čaurasti lanci su slični valjkastim, s tim što nemaju valjčiće. Na ovaj način se povećava noseća površina i smanjuje specifičan pritisak između čaurica i osovinica.

Između osovinice i čaurice naleganje je labavo je (postoji zazor). Koriste se za manja opterećenja i male brzine do $0,5 \text{ [m/s}^2\text{]}$. Čaurasti lanci su definisani standardom.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

2.3 Zupčasti lanci



Zupčasti lanac



Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

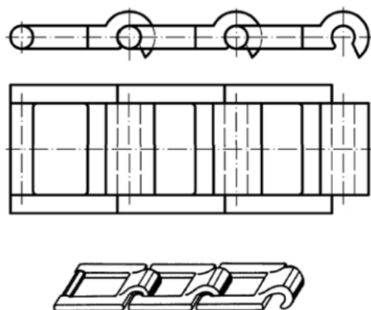
OSNOVI MAŠINSTVA

Zupčasti lanci su pogodni za manje snage i veće brzine i do 30 [m/s], ako je obezbeđeno dobro podmazivanje. Rade gotovo bešumno u odnosu na ostale lance koji su bučni.

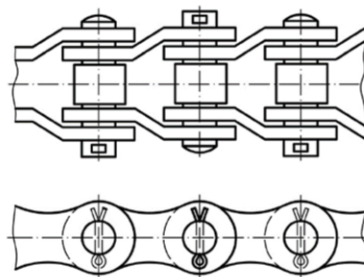
Lanac sa zupcima ima lamele sa zupcima koji su spojeni sa vodećom lamelom, a ona može biti na sredini ili na krajevima. Zupčasti lanci imaju bolje sprezanje od ostalih lanaca.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

2.4 / 2.5 Rastavljivi zglobni i rotari lanci



Rastavljivi zglobni lanac



Rotary lanac

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Rastavljivi zglobni lanci se koriste za poljoprivredne i transportne mašine. Izrađuju se od temper liva sa korakom od 22 do 148 [mm], za sile kidanja od 1500 do 12000 [N].

Rotari lanci imaju zakrivljene spojnice, zbog čega su veoma elastični i mogu da nose udarna opterećenja.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

2.6 Specijalni lanci



Specijalni lanci

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Specijalni lanci su oni koji pored svoje osnovne uloge da prenesu obrtni moment, imaju dodatni zadatak da nešto prenose, pomeraju i sl. Kod ovakvih lanaca postoje dodatni delovi u vidu posudica, hvatača i sl. što je prikazano na slici. Specijalni lanci se koriste kod povrtarskih mašina. U hvatače se stavlja npr. rasad koja se polaže u zemljište.

Na slajdu su prikazani neki od specijalnih lanaca našeg proizvođača „Filip Kljajić“ iz Kragujevca i nemačkog proizvođača „Kobo“.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

2.7 Lanci za spajanje



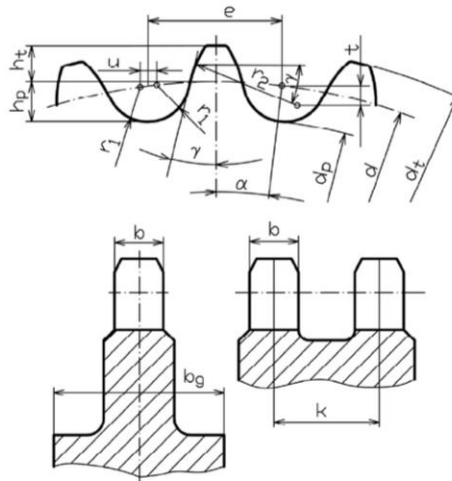
Lanci za spajanje

OSNOVI MAŠINSTVA

Lanci za spajanje ne prenose obrtni moment već služe samo za spajanje, vezivanje, zaključavanje i slično.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

Lančanici



Zupci lančanika za valjkasti lanac

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

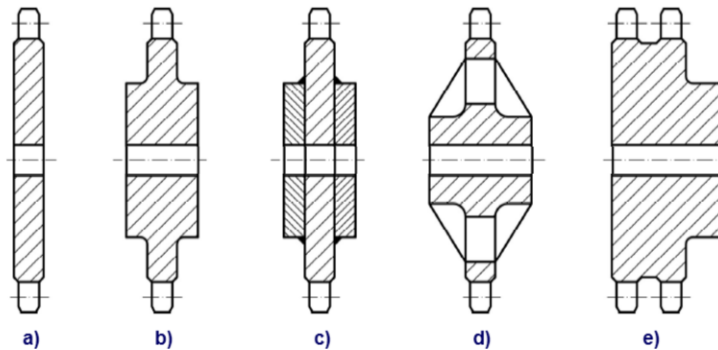
Lančanik se sastoji iz venca, trupa i glavčine, isto kao i zupčanik. Vitalni deo lančanika je venac sa zupcima. Lančanik može imati jedan ili više redova zubaca (slika dole). Oblik zubaca zavisi od vrste lanca. Geometrijski parametri venca lančanika definisani su vrstom lanca.

Geometrijski parametri lančanika za valjkasti lanac su:

- ✓ podnožni prečnik lančanika d_p ,
- ✓ temeni prečnik d_t ,
- ✓ kinematički prečnik d ,
- ✓ podnožna visina zupca h_p ,
- ✓ temena visina zupca h_t ,
- ✓ poluprečnik međuzublja r_1 ,
- ✓ poluprečnik boka zupca r_2 ,
- ✓ ugao profila zupca γ ,
- ✓ zazor u ,
- ✓ širina venca b ,
- ✓ širina glavčine b_g itd.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

Lančanici



Konstrukcioni izgledi lančanika

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Na sl su dati najčešći konstrukcioni izgledi lančanika. Za mala opterećenja, lančanik je u vidu ploče (sl. a), a kada su opterećenja veća, glavčina je izražena (sl. b).

Lančanik se može izraditi zavarivanjem od različitih materijala - venac od kvalitetnijeg, a trup i glavčina od manje kvalitetnog materijala (sl. c). Za veće dimenzije kinematičkog prečnika, lančanik ima paoke (sl. d).

Višeredni lančani prenosnik ima više redova zubaca (sl. e).

Zavisno od veličine kinematičkog prečnika, koraka lanca i načina izrade, mogući su vrlo različiti konstrukcioni izgledi lančanika.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

Pravilno korišćenje lančanih prenosnika snage

Pravilno korišćenje lančanih prenosnika podrazumeva:

- ✓ upotrebu za obrtne momente za koje su proračunati i izabrani bez preopterećenja,
- ✓ adekvatno podmazivanje,
- ✓ održavanje u čistom stanju,
- ✓ da se stalno zatežu i proverava zategnutost lanca,
- ✓ proveru ispravnosti lanaca i lančanika,
- ✓ upotrebu zaštitne oplata (štitnika) i
- ✓ rasterećivanje i konzerviranje kada se ne koriste duži period.



OSNOVI MAŠINSTVA

Pravilno korišćenje lančanih prenosnika podrazumeva da se:

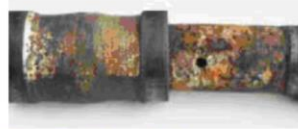
- ✓ koriste za obrtne momente za koje su proračunati i izabrani bez preopterećenja,
- ✓ adekvatno podmazuju,
- ✓ održavaju u čistom stanju,
- ✓ stalno zatežu i proverava zategnutost lanca,
- ✓ proverava ispravnost lanaca i lančanika,
- ✓ koristi zaštitna oplata (štitnik) i
- ✓ rasterete i konzerviraju kada se ne koriste duži period.

2. LANČANI PRENOSNICI SNAGE

Oštećenja na lančanim prenosnicima snage



Abrazija lanca



Korozija delova lančanog prenosnika



Ishabani zupci lančanika



Nagrizanje valjčića lanca



Pregrevanje lanca



Kidanje lanca

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

I pored redovnog održavanja, zbog teških uslova u kojima rade mašine, dolazi do oštećenja lančanih prenosnika snage u vidu: abrazije, korozije, habanja, nagrivanja, pregrevanja i pucanja lanca.

Abrazija se javlja kada se na lancu nađu čestice velike tvrdoće (pesak, metalni opiljci i sl.) koje skidaju i oštećuju površinu lanca.

Do **korozije** lančanih prenosnika snage dolazi kada je podmazivanje neodgovarajuće i kada rade u vlažnim uslovima.

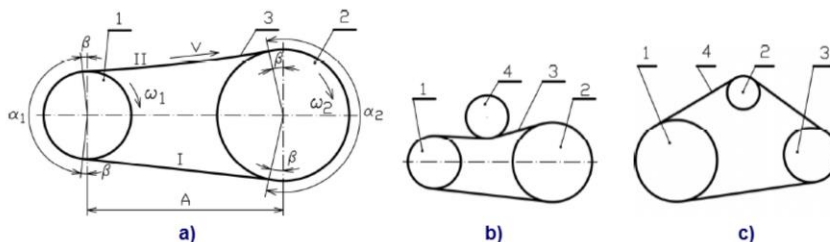
Habanje je najčešće oštećenje i lanca i lančanika zbog velikih površinskih pritisaka.

Kada lančani prenosnik radi u agresivnoj sredini, može doći do **nagrivanja** delova lanca i lančanika.

Kada je podmazivanje nedovoljno, lančani prenosnik se **pregreva** i dolazi do promene njegovih mehaničkih karakteristika.

Do **kidanja lanca** dolazi usled velikog preopterećenja.

3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE



Kaišni prenosnici snage

$$i = \frac{\omega_1 \cdot \xi}{\omega_2} \quad \xi [\%] - \text{klizanje}$$

$$\xi = 0.95 \div 0.99$$

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/noda2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Kaišni (remeni) prenosnik snage se sastoji iz dva kaišnika (remenice) (sl. a, poz. 1 i 2) i kaiša (remena) koji ih spaja (3). Pored toga, može imati i zatezač (sl. b, poz. 4). Jedan pogonski kaišnik (remenica) može da pogoni više gonjenih kaišnika (remenica) (sl. c, poz. 2 i 3).

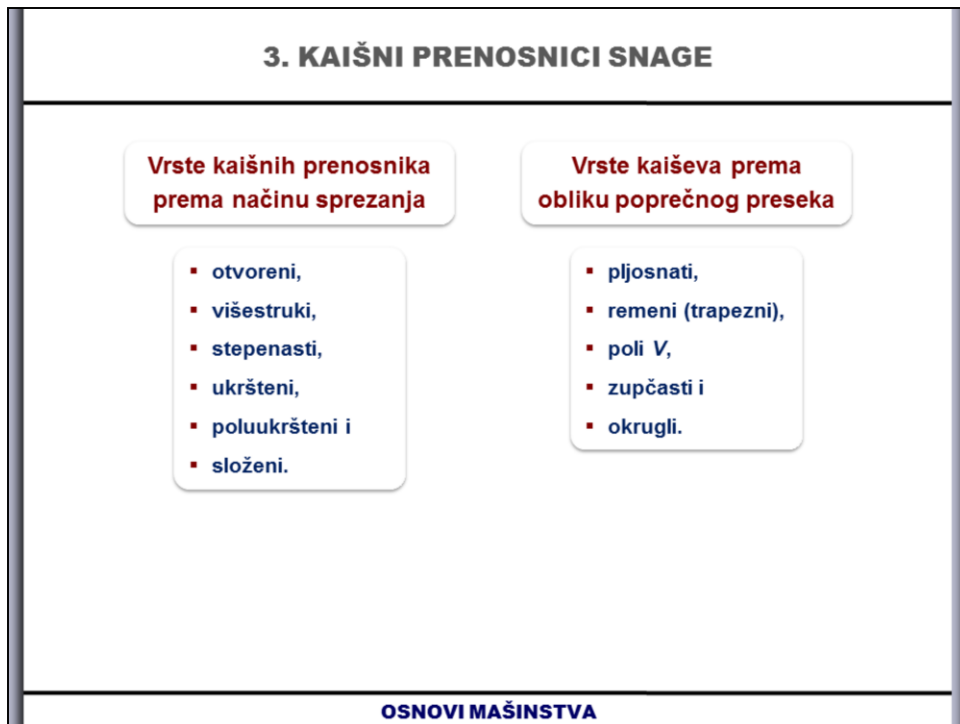
Termini **kaiš** i **kaišnik** se odnose na **pljosnate kaišne prenosnike**, a **remen** i **remenica** na **trapezne prenosnike**.

Obrtni moment se sa jednog kaišnika na drugi prenosi samo trenjem između kaiša i kaišnika. Da bi se ostvarilo dovoljno trenje potrebno je da kaiš bude zategnut. Pri zatezanju kaiša se dodatno opterećuje vratilo i ležaji u kojima se nalazi vratilo. Ako kaiš nije dovoljno zategnut, u većoj meri klizi, gubi se snaga, a kaiš se pregreva, što menja njegove mehaničke karakteristike. Stoga je kod kaišnog prenosnika važno da kaiš bude pravilno zategnut.

Kaišnim pljosnatim prenosnikom snage se može preneti obrtni moment na velika rastojanja ($A \approx 10 \text{ m}$). Koristi se za snage do oko 100 kW, za brzine do oko 30 m/s ili oko 100 m/s za kaiševe od višeslojnih materijala. Minimalna vrednost manjeg obvojnog ugla je $\alpha_1 > 150^\circ$, eventualno $\alpha_1 > 140^\circ$ za trapezne kaišne prenosnike. Prenosni odnos je do $i \leq 5$. Prenosni odnos nije konstantan, jer se javlja klizanje kaiša ξ :

$$i = (\omega_1 / \omega_2) \cdot \xi.$$

Vrednost klizanja kaiša treba da je $\xi = 0.95 \div 0.99$. Nekonstantan prenosni odnos omogućava zaštitu od preopterećenja i lomova delova. S druge strane, nekonstantan prenosni odnos smanjuje stepen korisnosti i utiče na smanjenje veka trajanja kaiša.



Prema načinu sprezanja, kaišne prenosnike snage delimo na:

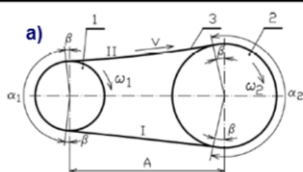
- otvorene,
- višestruke,
- stepenaste,
- ukrštene,
- poluukrštene i
- složene.

Prema obliku poprečnog preseka, kaiševi prenosnika se dele na:

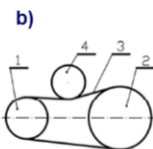
- pljosnate,
- remene (trapezne),
- poli V,
- zupčaste i
- okrugle.

3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE

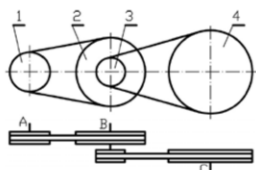
3.1 Vrste kaišnih prenosnika prema načinu sprezanja



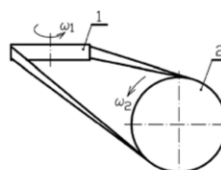
Sl.1 Otvoreni kaišni prenosnik



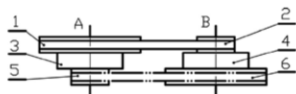
Sl.4 Ukršteni kaišni prenosnik



Sl.2 Višestruki kaišni prenosnik



Sl.5 Poluukršteni kaišni prenosnik



Sl.3 Stepenasti kaišni prenosnik

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Otvoreni kaišni prenosnici mogu biti bez zatezača (sl. 1a) ili sa zatezačem (sl. 1b).

Višestruki kaišni prenosnici imaju više spregnutih parova (sl. 2). Koriste se kada je potrebno ostvariti veći prenosni odnos. U ovom primeru su dva spregnuta para, prvi par je 1 i 2, a drugi je 3 i 4. Na taj način se postiže veći ukupni prenosni odnos sa kaišnika 1 na kaišnik 4.

Stepenasti kaišni prenosnik se koristi za postizanje različitih prenosnih odnosa, što predstavlja najjednostavniji varijator (sl. 3). Kada su spregnuti kaišnici 1 i 2 dobija se multiplikator, tj. kaišnik 2 i vratilo B će se brže obrtati od vratila A. U slučaju sprežanja kaišnika 3 i 4 prenosni odnos je jedan ($i = 1$), odnosno vratilo A i B se obrću istim brojem obrtaja. U slučaju sprežanja kaišnika 5 i 6 dobija se reduktor, tj. vratilo B se sporije obrće od vratila A.

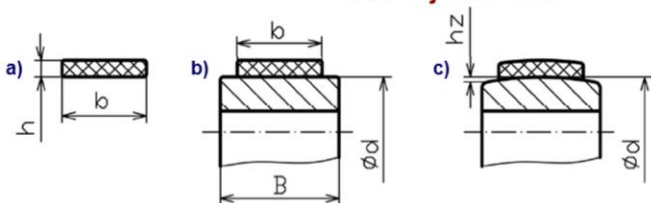
Ukršteni kaišni prenosnik omogućava suprotne smerove obrtanja spregnutih kaišnika (sl. 4). Za ukršten kaišni prenosnik se može koristiti samo pljosnati kaiš.

Poluukršteni kaišni prenosnik omogućava prenošenje obrtnog momenta na mimoilazna vratila (sl. 5). Retko se koristi jer kaiš ima tendenciju da spadne sa kaišnika.

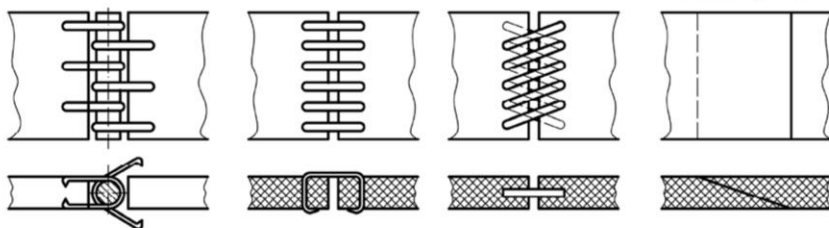
3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE

3.2 Vrste kaiševa prema obliku poprečnog preseka

3.2.1 Pljosnati kaiš



Sl.1 Pljosnati kaiš



Sl.2 Načini spajanja pljosnatih kaiševa

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Pljosnati kaiš je pravougaonog poprečnog preseka $b \times h$ (sl. 1a), a venac kaišnika je ravan (sl. 1b). Pljosnati kaiš se koristi za manje snage i veće brzine obrtanja. Za manje brzine obrtanja, $v < 5 \text{ m/s}$, kaiš teži da spadne. Zbog toga, za ovako male brzine kaiša, venac kaišnika nije ravan već malo ispupčen za vrednost h_z (sl. 1c), što smanjuje tendenciju spadanja kaiša pri tako malim brzinama.

Pljosnati kaiš može više da se savija od ostalih profila kaiševa. Treba da bude jače zategnut od ostalih profila kaiševa, pa više opterećuje vratilo i ležaje. Povoljniji je kaiš sa manjom debljinom h , jer je manje osetljiv na savijanje.

Pljosnati kaiš može da ima zatezače, da bude ukršten i poluukršten.

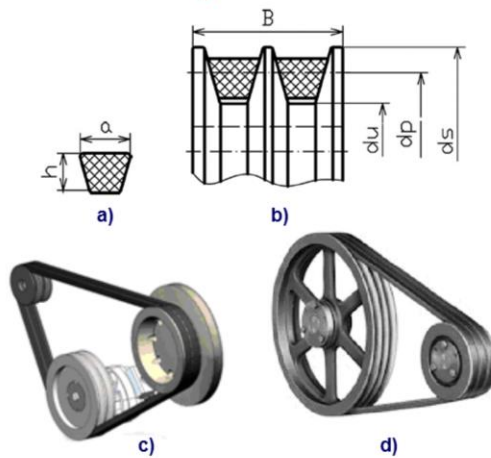
Pljosnati kaiš je manje mase od trapeznog, zbog čega se koristi za veće obimne brzine. Koristi se za veća međuosna rastojanja kaišnika. Širine pljosnatih kaiševa b i odgovarajuće debljine h date su standardom. Uzajamna zavisnost prečnika kaišnika d , širine kaiša b , širine kaišnika B i vrednosti zaobljenja venca kaišnika h_z , takođe je definisana standardom.

Pljosnati kaiševi su kupuju na dužni metar, a spajaju se na različite načine (sl. 2): pomoću posebnih kopči, ušivanjem trakom ili lepljenjem.

3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE

3.2 Vrste kaiševa prema obliku poprečnog preseka

3.2.2 Trapezni kaiš - remen



Trapezni kaiš - remen

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Poprečni presek **remena** je trapez (sl. a) visine h i širine a , a venac remenice trapeznog kaiša je sa žlebovima u koje ulaze remeni (sl. b). Ukupna širina remenice B zavisi od širine remena i njihovog broja. Žleb remenice je definisan unutrašnjim d_u , spoljašnjim d_s i podeonim (računskim, neutralnim) d_p prečnikom.

Broj remena može biti 2 (sl. b i c), 3 (sl. d) i više, maksimalno do 15 za neke poprečne preseke.

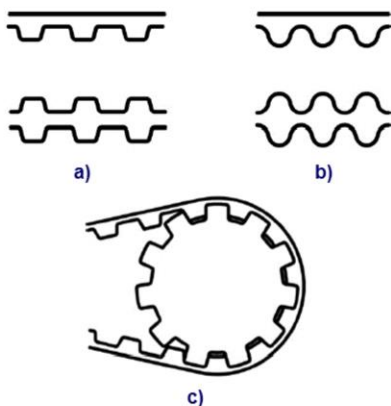
Remeni prenosnici se koriste za manje brzine jer su remeni većih masa i za veće snage u odnosu na pljosnate. Remeni se manje zatežu od kaiša, pa manje opterećuju vratila i lažaje na njima.

Remeni prenosnici se primenjuju za manja međuosna rastojanja od kaišnih prenosnika. Dele se na trapezne (remene) i uskoprofilne (klinaste).

3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE

3.2 Vrste kaiševa prema obliku poprečnog preseka

3.2.4 Zupčasti kaiš



Zupčasti kaiševi

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet
Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/sr/node/2468>



OSNOVI MAŠINSTVA

Prenosni odnos navedenih kaišnih i remenih prenosnika je nekonstantan i pri radu dolazi do klizanja kaiša. Intenzitet klizanja zavisi od zategnutosti kaiša. Klizanje kaiša smanjuje stepen korisnosti.

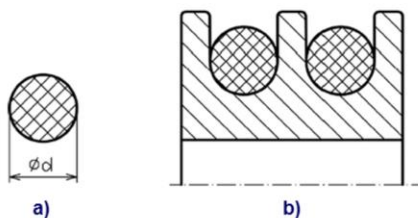
Zupčasti kaišni prenosnik ima konstantan prenosni odnos. Zupčasti kaiš ima na unutrašnjoj ili na obe strane zupce u obliku trapeza (sl. a) ili u obliku polukružnica (sl. b). Venac kaišnika ima odgovarajuće profilisane zupce i međuzublja, zavisno od profila zupčastog kaiša (sl. c).

Zupčasti kaišni prenosnici se koriste za veće brzine i srednje vrednosti obrtnih momenata. Postoji više standardnih profila.

3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE

3.2 Vrste kaiševa prema obliku poprečnog preseka

3.2.5 Okrugli kaiš



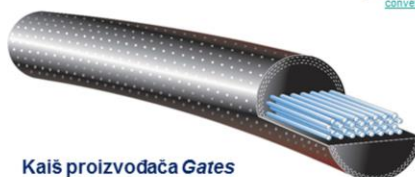
Okrugli kaiš

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet
Univerziteta u Novom Sadu. <http://polj.uns.ac.rs/kn/node/2466>



Trakasti transporter

<https://www.emcorp.com/en/products/conveyors/parts-roller-belt>



Kaiš proizvođača Gates

<https://www.gates.com/us/en/power-transmission/v-belts/round-belts.html>

OSNOVI MAŠINSTVA

Poprečni presek okruglog kaiša je kružnica (sl. a), a žleb u kaišniku je odgovarajuće polukružno profilisan u koji ulazi kaiš (sl. b).

Okrugli kaišni prenosnik se koristi za najveće brzine i manje snage.

Trakasti transporteri sa kaiševima (slika desno) se često preporučuju kada se koriste delovi sa debelim zidom ili veliki vrući delovi koji se mogu oštetiti kada padnu na trakasti transporter. Napravljen od poliuretana i podržan plastičnim nosačima sa žljebovima na kliznoj ladici transportera, pojas za kaiševe obezbeđuje meko spuštanje i hlađenje delova, kao i cirkulaciju vazduha ispod transportovanih delova. Karakteristika podesivog razmaka pojasa za kaiševe mu omogućava da se prilagodi raznim konfiguracijama delova.

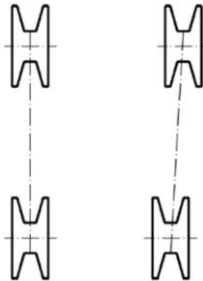
3. KAIŠNI PRENOSNICI SNAGE

Održavanje i oštećenja kaišnih prenosnika snage



Oštećenja kaiša:

- habanje,
- istezanje,
- ispucalost,
- ljuštenje,
- zaprljanost i
- kidanje.



Pravilan i nepravilan položaj remenica

Održavanje:

- Remenice moraju da budu čiste, odmašćene, cilindrične, bez mehaničkih oštećenja;
- Kada se kaiš ne koristi duži period potrebno ga je olabaviti ili skinuti i odložiti na suvo i čisto mesto;
- **Kaišni prenosnici moraju biti zaštićeni žičanom mrežom ili sličnom zaštitom** 

Izvor: Gligorić, R. (2015). Mašinski elementi. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu. <http://poli.uns.ac.rs/stimoda2468>

OSNOVI MAŠINSTVA

Na kaišnom prenosniku se uglavnom oštećuje kaiš. Oštećenja kaiša mogu biti: habanje, istezanje, ispucalost, ljuštenje, zaprljanost i kidanje.

Habanje i istezanje kaiša su najčešća oštećenja i neminovna su pojava. Kaiš može biti toliko istegnut da ga je nemoguće više zatezati, te se mora zameniti novim.

Kada remen ispuca po površini, smanjuje se njegova moć nošenja. Do ovoga može doći u više slučajeva. Kada je remen star, gubi elastičnost i počinje da puca. Do pojave pucanja dolazi u sličaju kada nije dovoljno zategnut, što dovodi do velikog klizanja i pregrevanja remena. Razlog pucanja kaiša može biti i nepravilno konzerviranje.

Ljuštenje kaiša se javlja kod starih kaiševa, pri preopterećenjima ili usled štetnih uticaja sredine. U tom slučaju kaiš treba zameniti.

Kaiš se može zaprljati uljem, što smanjuje trenje između kaišnika i kaiša i dolazi do klizanja. U tom slučaju remen treba oprati blagim sredstvom kako bi se odmastio. Kožni kaiš se ne sme prati vodom, već se samo dobro izbriše mekom pamučnom tkaninom. Da bi kožni kaiš zadržao elastičnost, potrebno ga je s vremena na vreme namazati mlakim lanenim uljem.

Do kidanja kaiša dolazi pri preopterećenju ili suviše velikom pritezanju.

Prilikom zamene remena potrebno ih je sve zameniti kada ih ima više, jer će jedino tako svi remeni jednako i ravnomerno da nose obrtni moment. Prilikom zamene remena ne sme da dođe do zamašćivanja od ruku rukovaoca ili sa radnih površina.

Remenice se takođe mogu ishabati. Do ovog dolazi kada kaišnici nisu saosni (slika).

Remenice moraju da budu čiste, odmašćene, cilindrične, bez mehaničkih oštećenja u obliku izbočina ili ulegnuća koje bi uzrokovale habanje remena. Ishabanost žleba remenice se proverava pomoću profila sa pločicama.

Kada se kaiš ne koristi duži period potrebno ga je olabaviti ili skinuti i odložiti na suvo i čisto mesto. Kaišni prenosnici moraju biti zaštićeni žičanom mrežom ili sličnom zaštitom. Ovo je neophodno iz dva razloga. Prvo, da se zaštiti rukovalac od povreda i drugo, da se zaštiti kaiš od nečistoća i stranih primesa.

Kontrolna pitanja 18



1. Šta predstavljaju prenosnici snage?
2. Osnovna podela prenosnika snage.
3. Izvesti izraz za prenosni odnos prenosnika snage sa nepokretnim geometrijskim osama.
4. Kako se objašnjava negativna vrednost prenosnog odnosa?
5. Pomoću kojih veličina se može izraziti prenosni odnos prenosnika snage?
6. Koji su primeri prenosnika snage sa konstantnim i nekonstantnim prenosnim odnosom?
7. Kako se tumače vrednosti prenosnog odnosa $i > 1$, $i < 1$, $i = 1$?
8. Šta predstavljaju varijatori?

Kontrolna pitanja 18



9. Kako funkcionišu i čemu služe remeni varijatori sa stepenastom i kontinualnom promenom prenosnog odnosa?
10. Kako se objašnjava stepen korisnosti spregnutih prenosnika sa nepokretnim geometrijskim osama?
11. Šta pokazuje bilansna jednačina snage prenosnika?
12. Koji su osnovni elementi zupčanika zupčastog prenosnika snage?
13. Prema kojim kriterijumima se dele zupčasti prenosnici snage?
14. Kako se dele zupčanici zupčastih prenosnika prema položaju osa vratila?
15. Kako se dele zupčanici zupčastih prenosnika prema pravcu zubaca?
16. Kako se dele zupčanici zupčastih prenosnika prema pokretности osa obrtanja?

Kontrolna pitanja 18



17. Kako se dele zupčanici zupčastih prenosnika prema obliku boka zubaca?
18. Kako se dele zupčanici zupčastih prenosnika prema konstrukcionom obliku?
19. Koje su karakteristike primene zupčastih prenosnika snage?
20. Šta predstavlja i kako se određuje modul zupčanika?
21. Koji uslovi moraju da budu zadovoljeni da bi dva zupčanika mogla da se spregnu?
22. Kako se objašnjava glavno pravilo zupčanja?
23. Šta predstavlja i kako se objašnjava stepen sprezanja zupčanika?
24. Šta podrazumeva pravilno korišćenje i održavanje zupčastih prenosnika snage?

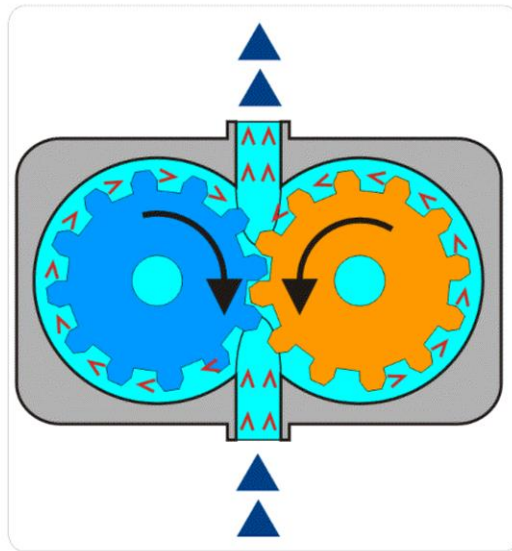
OSNOVI MAŠINSTVA

Kontrolna pitanja 18



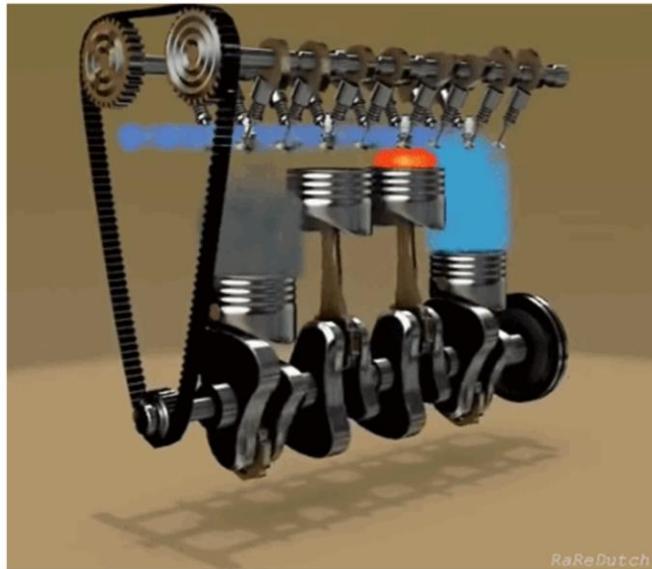
25. Koji su vidovi oštećenja zupčanika i usled čega se javljaju?
26. Objasniti strukturu lančanih prenosnika snage.
27. Objasniti podelu lančanih prenosnika i lanaca.
28. Šta podrazumeva pravilno korišćenje lančanih prenosnika snage?
29. Koji su vidovi oštećenja na lančanim prenosnicima snage i usled čega se javljaju?
30. Objasniti strukturu kaišnih prenosnika snage.
31. Objasniti podelu kaišnih prenosnika i kaiševa.
32. Šta podrazumeva pravilno korišćenje i održavanje kaišnih prenosnika?

Sada bolje razumem kako radi ...



OSNOVI MAŠINSTVA

Sada bolje razumem kako radi ...



OSNOVI MAŠINSTVA

Sada bolje razumem kako radi ...



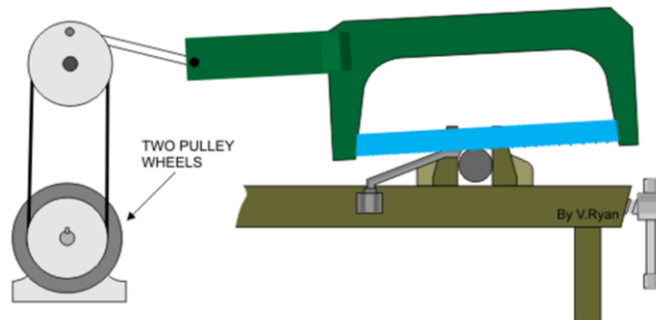
OSNOVI MAŠINSTVA

Sada bolje razumem kako radi ...

The diagram illustrates a planetary gear set. A central input shaft (green) is connected to a planetary carrier (blue). The carrier holds several planet gears (pink) which mesh with a fixed outer ring gear (red). The output is taken from a central shaft (blue) connected to the planet carrier. The gear ratios are given as $i = \frac{36}{24} \cdot \frac{44}{16} = 4.125$. The number of teeth for the gears are labeled: $z=24$ for the green gear, $z=36$ for the red gear, $z=16$ for the blue gear, and $z=44$ for the pink gear.

OSNOVI MAŠINSTVA

Sada bolje razumem kako radi ...



OSNOVI MAŠINSTVA

