

Primjena tarnih prijenosnika u mehatronici

Jažo, Božo

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:286466>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

Primjena tarnih prijenosnika u mehatronici

Završni rad br. 14/MEH/2018

Božo Jažo

Bjelovar, listopad 2018.

VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

Primjena tarnih prijenosnika u mehatronici

Završni rad br. 14/MEH/2018

Božo Jažo

Bjelovar, listopad 2018.



Veleučilište u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Jažo Božo**

Datum: 24.08.2018.

Matični broj: 001370

JMBAG: 0314013640

Kolegij: **ELEMENTI PRECIZNE MEHANIKE**

Naslov rada (tema): **Primjena tarnih prijenosnika u mehatronici**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., predsjednik
2. dr.sc. Stjepan Golubić, mentor
3. Božidar Hršak, mag.ing.mech., član

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 14/MEH/2018

U radu je potrebno:

- opisati prijenosnike općenito
- opisati tarne prijenosnike
- opisati materijale za izradu tarnih prijenosnika
- opisati proračun tarnih prijenosnika
- navesti i opisati primjere primjene tarnih prijenosnika

Zadatak uručen: 24.08.2018.

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**



Zahvala

Zahvaljujem se svim profesorima Veleučilišta u Bjelovaru na predanom znanju kojeg sam stekao tokom školovanja, te mentoru dr.sc. Stjepanu Golubiću na potpori i pomoći pri izradi završnog rada.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. OPĆENITO O PRIJENOSNICIMA.....	2
2.1 <i>Mehanički prijenosnici</i>	3
2.2 <i>Remenski prijenos.....</i>	4
2.2.1 <i>Remenski prijenos plosnatim remenom</i>	5
2.2.2 <i>Remenski prijenos klinastim remenom</i>	7
2.2.3 <i>Remenski prijenos zupčanim remenom.....</i>	8
2.3 <i>Lančani prijenos</i>	9
2.4 <i>Zupčani prijenos</i>	12
2.5 <i>Vijčani prijenos.....</i>	14
3. TARNI PRIJENOS	16
3.1 <i>Vrste tarnog prijenosa</i>	17
3.2 <i>Prijenos s konstantnim prijenosnim omjerom.....</i>	19
3.3 <i>Prijenos s promjenjivim prijenosnim omjerom.....</i>	20
4. MATERIJALI ZA IZRADU TARNIH PRIJENOSNIKA	23
5. PRORAČUN TARNIH PRIJENOSNIKA	27
5.1 <i>Osnove proračuna</i>	27
5.2 <i>Elastično i diferencijalno puzanje, brzine klizanja, sile</i>	28
5.3 <i>Proračun kontaktnih naprežanja</i>	31
5.4 <i>Proračun trošenja.....</i>	33
5.5 <i>Proračun zagrijavanja.....</i>	35
5.6 <i>Iskoristivost.....</i>	36
6. PRIMJERI PRIMJENE TARNIH PRIJENOSNIKA.....	37
6.1 <i>Lamelne spojke i kočnice</i>	39
7. ZAKLJUČAK.....	42
8. LITERATURA	43
9. OZNAKE I KRATICE.....	45
10. SAŽETAK.....	47
11. ABSTRACT	48

1. Uvod

Za temu ovog završnog rada odabrani su tarni prijenosnici. Iako ne toliko u upotrebi kao ostali prijenosnici i dalje su neizbježni način korištenja u pojedinim segmentima mehatronike. Na početku ovog rada opisani su prijenosnici općenito, gdje su navedeni mehanički prijenosnici u koje spadaju i sami tarni prijenosnici. Uz tarne prijenosnike, ukratko su opisani remenski, lančani, zupčani i vijčani prijenosnici. U opisu svakog od tih navedene su vrste, oblici, osnovne formule proračuna te primjena u mehantroničkom sustavu. Tarni prijenos, kao glavni dio ovoga završnog je obrađen u opisu vrsti tarnih prijenosnika, materijalima od kojih se izrađuju prijenosnici, proračun, te primjena kao završni dio.

2. OPĆENITO O PRIJENOSNICIMA

Prijenosnici su sklopovi za prijenos gibanja dijelova mehatroničke konstrukcije čiji je zadatak prijenos sile i gibanja, mijenjanja brzine gibanja te pretvorbu gibanja. Mogu se koristiti i za promjenu toka snage, promjenu smjera vrtnje te promjenu osi vrtnje. Osnovni dio svakog prijenosnika je element za prijenos, po čemu se svaki prijenosnici razlikuju međusobno. Prijenosnici se mogu definirati kao posrednici u prijenosu energije između dva stroja, pogonskog i radnog, pri čemu se potrebama radnog stroja prilagođavaju dinamika gibanja i mehanička energija [1, 2].

Prijenosnici imaju više podjela, od kojih su najvažnije prema načinu prijenosa okretnog momenta, s obzirom na mogućnost promjene prijenosa omjera i prema tome je li dominantan prijenos snage i gibanja ili samo gibanja [1].

Prema načinu prijenosa okretnog momenta dijelimo ih na [1]:

- mehaničke
- hidrauličke
- pneumatske
- električne prijenosnike

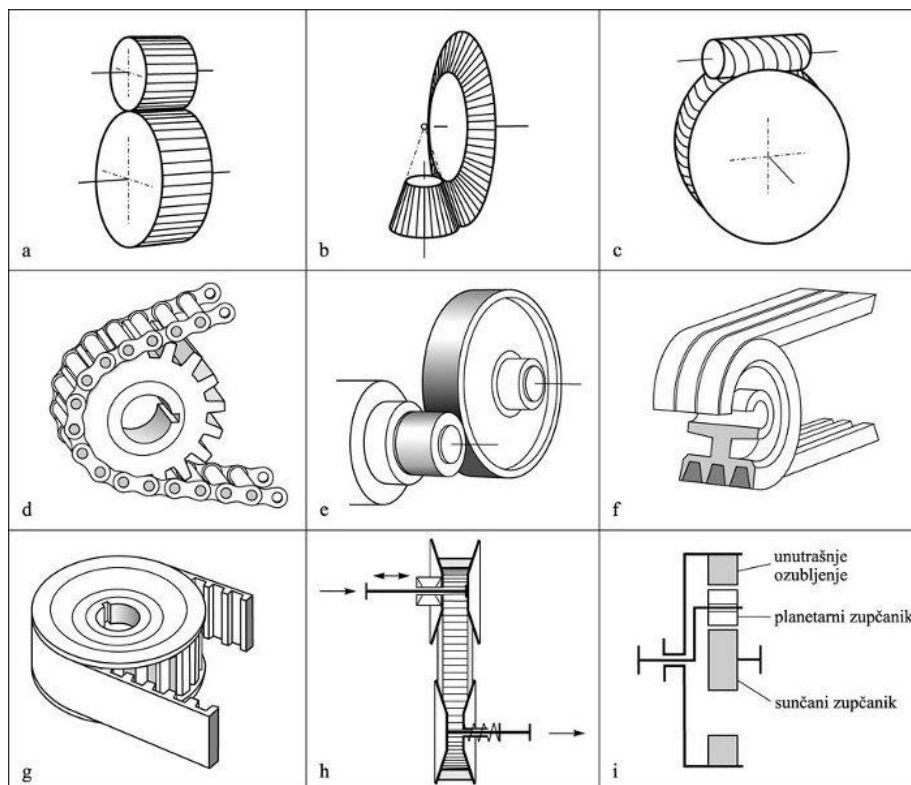
Prema mogućnosti promjene prijenosa omjera [1]:

- kao reduktori, kada je brzina rotacije izlaznog vratila pogonskog stroja prevelika za potrebe radnog stola
- kao multiplikatori, kada je brzina rotacije izlaznog vratila pogonskog stroja premala za potrebe radnog stroja
- kada osi rotacije izlaznog vratila pogonskog i ulaznog vratila radnog stroja nisu na istom pravcu
- kada je potrebno koristiti više pogonskih strojeva za jedan radni stroj
- kada se jedan pogonski stroj kao pogon za više radnih strojeva
- kada je smjer rotacije izlaznog vratila pogonskog stroja suprotan potrebnom smjeru rotacije

2.1 Mehanički prijenosnici

Mehanički prijenosnici su mehanizmi koji prenose i pretvaraju snagu ili gibanje s jednog stroja na drugi, odnosno s pogonskog stroja na neki od gonjenih strojeva. Na izlaz pogonskog stroja moguće ih je prilagoditi pomoću mehaničkog sklopa, ovisno potrebama ulaza radnog stroja [2].

Najvažniji oblici mehaničkih prijenosnika su tarni, remenski, lančani, zupčani i vijčani. Okretni moment, odnosno sila, prenosi se oblikom (zahvatom elemenata prijenosa) i trenjem. Pod okretnim momentom (silom) prijenosom oblikom spadaju zupčani, zupčani remenski, lančani te vijčani prijenos, dok za prijenos trenjem u opis ulaze tarni i remenski prijenos. Prijenos između pogonskog i gonjenog člana može biti s neposrednim i posrednim dodirnom elemenata prijenosa [1].



Slika 2.1 Mehanički prijenos – a) zupčanički čelnički, b) zupčanički stožnički, c) pužni i vijčanički, d) lančani, e) tarni, f) klinastim remenom, g) zupčanim remenom, h) remenski varijacijski, i) planetarni [3].

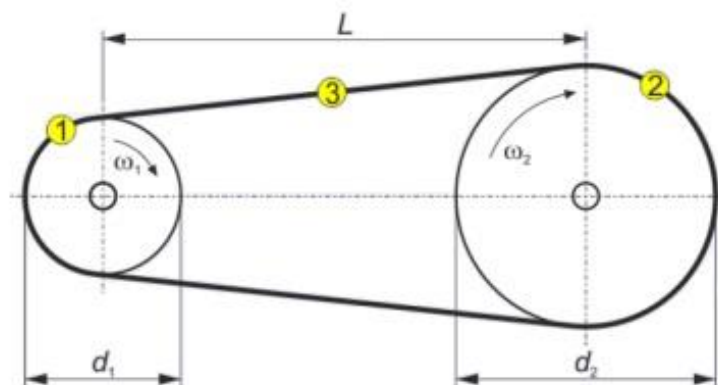
2.2 Remenski prijenos

Kod remenih prijenosnika se za posredni prijenos okretnog momenta, snage s pogonskog na gonjeni stroj koristi trenje, te se prenose sile i okretna gibanja između vratila. Osnovni dijelovi svakog remenskog prijenosnika su remen i remenice. Za razliku od lančanog i zupčanog prijenosa, remenski radi gipkije. Prijenosni omjer prijenosnika definiran je izrazom (2.1) gdje je: n_1 , (min^{-1}) - brzina vrtnje male remenice; n_2 , (min^{-1}) - brzina vrtnje velike remenice; d_1 , (m) – promjer male remenice; d_2 , (m) – promjer velike remenice, dok se brzina remena računa izrazom (2.2) gdje je: v , (m/s) – brzina remena; d_1 , d_2 , (m) – promjeri remenica; r_1 , r_2 , (m) – polumjeri remenica; n_1 , n_2 , (s^{-1}) - brzina vrtnje remenica; ω_1 , ω_2 , (rad/s) – kutne brzine remenica [2, 4].

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.1)$$

$$v = d_1 \cdot \pi \cdot n_1 = r_1 \cdot \omega_1 = d_2 \cdot \pi \cdot n_2 = r_2 \cdot \omega_2 \quad (2.2)$$

Najjednostavniji remenski prijenosnik (slika 2.2) sastoji se od dvije cilindrične remenice i plosnatog remena. Kružno gibanje pogonskog remena prenosi se posredno, preko remena, na kružno gibanje gonjenog remena. Remenski prijenos dijeli se na prijenos plosnatim, klinastim te zupčanim remenom. Plosnati i klinasti remen prijenos izvršavaju pomoću trenja, a zupčani zahvatom [2, 4].



Slika 2.2 Najjednostavniji remenski prijenosnik [4].

Prednosti [2]:

- prijenos gibanja pri većim razmacima vratila
- jednostavna izrada i niska cijena
- miran i tih rad
- spontana zaštita od preopterećenja (proklizavanje)

Nedostaci[2]:

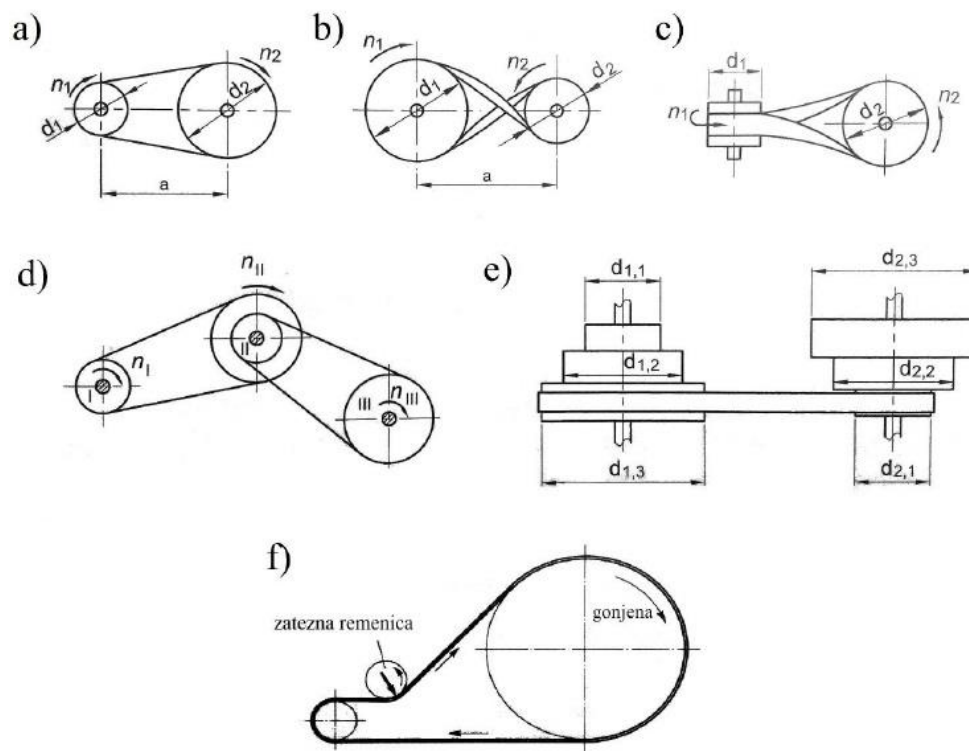
- uske granice promjena prijenosnog omjera (i)
- velika opterećenja vratila i ležajeva
- centriranje ravnog remena
- proklizavanje
- plastična deformacija remena tijekom vremena

2.2.1 *Remenski prijenos plosnatim remenom*

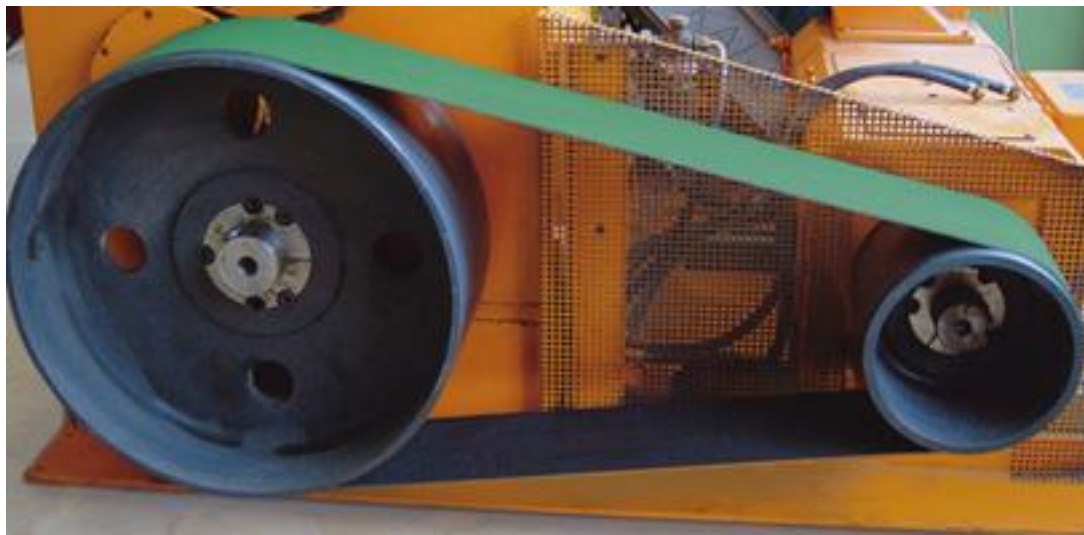
Prijenosnici s plosnatim remenom su danas u strojarstvu u vrlo maloj primjeni i uporabi. Iako su ih posve zamijenili prijenosnici s klinastim i zupčanim remenom, u specifičnim pogonima se koriste radi jednostavnije primjene nasuprot klinastim i zupčanim remenom za koje je u tom slučaju potrebna kompliciranija izvedba. Najprikladniji su za primjene s manjim remenicama i velikim središnjim udaljenostima. Plosnati remeni mogu spojiti unutarnje i vanjske remenice, te se mogu koristiti i kod zatvorenih i otvorenih remenskih prijenosnika [4].

Prijenosnici s plosnatim remenom se dijele na [4]:

- otvorene
- križane
- polukrižane
- složene
- stepenaste (s tri prijenosna omjera) te prijenos zateznom remenicom



Slika 2.3 Izvedbe prijenosnika s plosnatim remenom: a) otvoreni, b) križani, c) polukrižani, d) složeni, e) stepenasti (sa tri prijenosna omjera), f) prijenos zateznom remenicom [5].



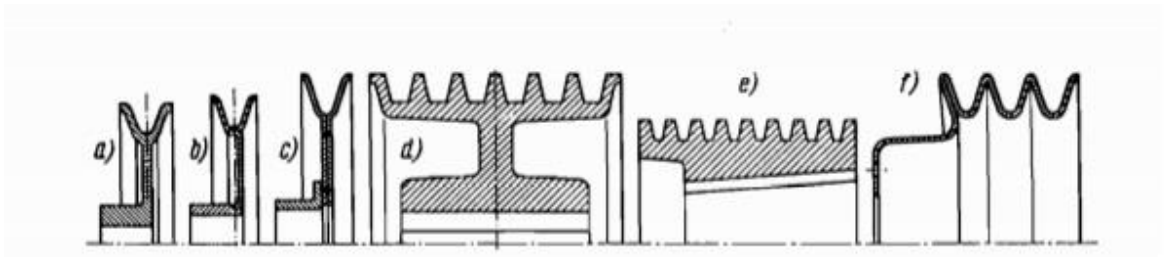
Slika 2.4 Primjer korištenja plosnatog remena [6].

2.2.2 Remenski prijenos klinastim remenom

Za razliku od prijenosnika s plosnatim remenom, klinasti su u većoj upotrebi u strojarstvu, te su uvelike preuzeli uporabu plosnatim remenom. Pogodan je za veće snage i katkad se primjenjuje u finomehanici. Zbog svog prijenosa, omogućuje velike prijenosne omjere, za normalni remen čak do vrijednosti $i \leq 10$, te do do $i \leq 15$ za uski remen. Klinasti remen je poprečnog presjeka trapeza, izrađen od ojačane gume. Remenice po standardu trebaju imati veličine utora koje se prisvajaju svaka odgovarajućem klinastim remenom [2, 4, 5].

Izvedbe klinastog remena mogu biti [5]:

- klinasti beskonačni: 1. normalni široki s $\beta = 34^\circ$, 2. uski s $\beta = 40^\circ \pm 1^\circ$
- klinasti konačne duljine: 1. normalni široki s $\beta = 34^\circ$, 2. uski s $\beta = 40^\circ \pm 1^\circ$
- klinasti beskonačni nazubljeni široki s $\beta = 24^\circ$ do 34°



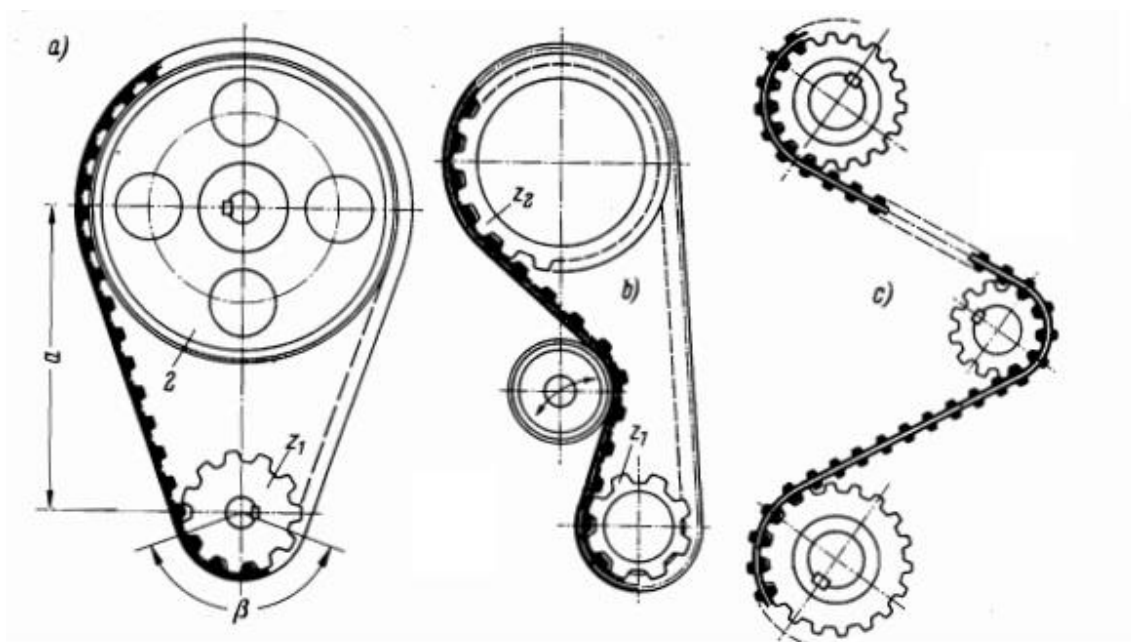
Slika 2.5 Vrste remenica kod prijenosa klinastim remenom: a) remenica s jednim utorom, b) remenica s više utora, c) remenica varijatora [5].



Slika 2.6 Primjer korištenja klinastog remena [7].

2.2.3 Remenski prijenos zupčanim remenom

Dok se prijenos zupčanim i plosnatim remenom prenosi trenjem, kod zupčanog remena se ostvaruje zahvatom zubaca remena u međuzublja remenica, čime je uklonjena mogućnost proklizavanja remena. Što se tiče ozubljenja, remeni mogu biti ozubljeni samo s donje ili donje i gornje strane i zahvaćaju u odgovarajuće ozubljene remenice. Tim se načinom, pomoću veze oblikom prenosi snaga i gibanje. Kod prijenosa manjih snaga nije potrebno dodatno napinaje. Za iznimke u ovom slučaju, kod jednostrano nazubljenog remena kao zatezna remenica se koristi valjkasta remenica ravnog vijenca [4, 5].



Slika 2.7 Prijenosi sa zupčanim remenjem: a) otvoreni prijenos s nenazubljenom (ravnom) većom remenicom, b) prijenos zateznom remenicom, c) prijenos na više gonjenih remenica [4].

Zupčani je remen jednostavan za održavanje, bešuman u radu te stvara male otpore i mehaničke gubitke u odnosu na lančani prijenos s kojim dijeli način rada. Prijenosi zupčanim remenom se koriste za prijenosne omjere $i \leq 10$ [4].



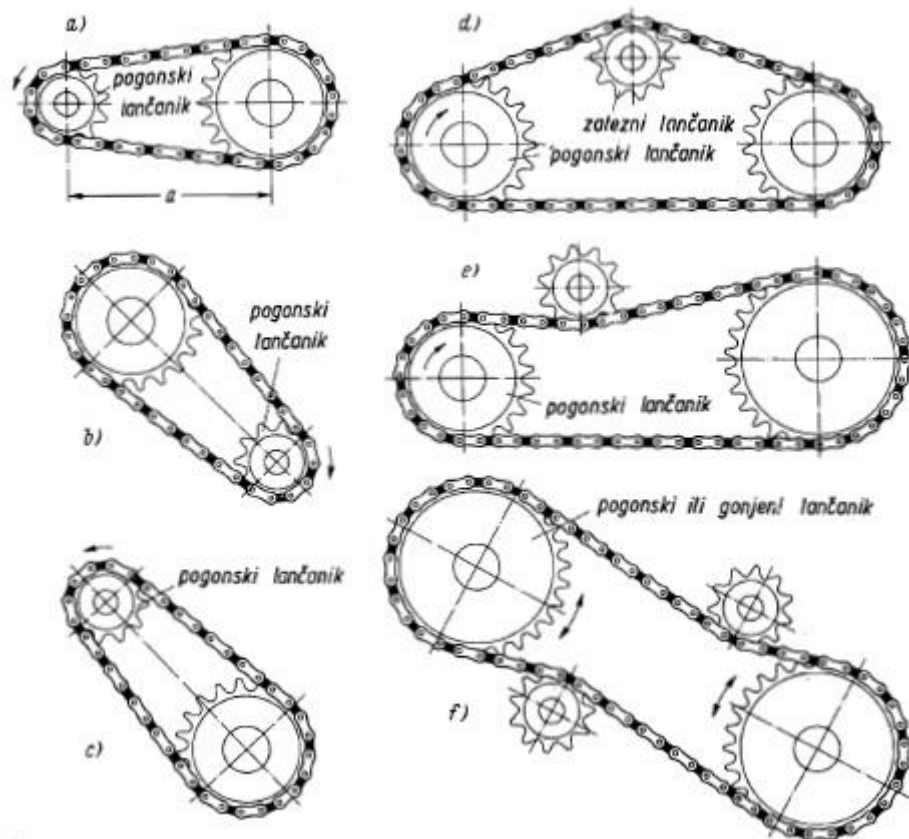
Slika 2.8 Primjer korištenja zupčastog remena [8].

2.3 Lančani prijenos

U lančanom prijenosu prijenos se izvodi pomoću veze oblikom. Sličan je prijenosu zupčanim remenom. Posredni su prijenosnici za prijenos gibanja zahvatom članaka lanca sa zupcima lančanika. Lančani se prijenos upotrebljava ondje gdje je remenski prijenos nemoguće ostvariti, kako zbog razmaka osi tako zbog loših prostornih i prijenosnih prilika. Za razliku od remenskih prijenosa, lančani prijenos s manjim obuhvatnim kutom i manjim razmacima osi može prenositi znatno veće sile. Lanci se sastoje od određenog broja spojenih elementarnih članaka. Što se tiče cijene, lanci i lančanici su skuplji od remena i remenica. Koriste se u industriji motornih vozila i poljoprivrednih strojeva, te u gradnji transportnih uređaja [2, 4, 5].

Lanci se prema obliku članaka dijele na [5]:

- jednostavne lance: kolutni, kukasti, patentni i lanac s kuglicama
- zglobne lance: Gallov, valjkasti, tuljkasti, zupčani, Rotary-lanac



Slika 2.9 Raspored i položaj lančanih prijenosa: a) vodoravni položaj, b) nagnuto pod najviše 60° , pogonski lančanik s donje strane, c) nagnuto pod najviše 60° , pogonski lančanik s gornje strane, d) s unutarnjim zateznim lančanikom, e) s vanjskim zateznim lančanikom, f) s dva zatezna lančanika radi mogućnosti promjene smjera okretanja [4].

Prednosti lančanih prijenosnika u odnosu na prijenosnike trenjem [2, 5]:

- prijenos je sinkron
- prijenos znatno veće snage uz manje opterećenje vratila (manje predzatezanje)
- mogući vrlo mali ili vrlo veliki osni razmaci
- jednostavna montaža i demontaža
- mogu se rabiti pri višim temperaturama

Nedostaci lančanih prijenosnika [2, 5]:

- veća cijena
- stvaraju buku
- veća krutost u odnosu na remen
- osjetljivost na prašinu
- teže održavanje – potrebno podmazivanje i čišćenje

Prijenosni omjer lančanih prijenosnika računa se izrazom (2.3), gdje je i - prijenosni omjer; n_1, n_2 , (min^{-1}) - brzina vrtnje lančanika; z_1, z_2 - broj zubaca lančanika [4].

$$i = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{z_2}{z_1} \quad (2.3)$$

Brzina lanca prijenosnika računa se izrazom (2.4) gdje je: v , (m/s) – brzina lanca; d_1, d_2 , (m) – promjer lančanika; n_1, n_2 , (s^{-1}) - brzina vrtnje lančanika [4].

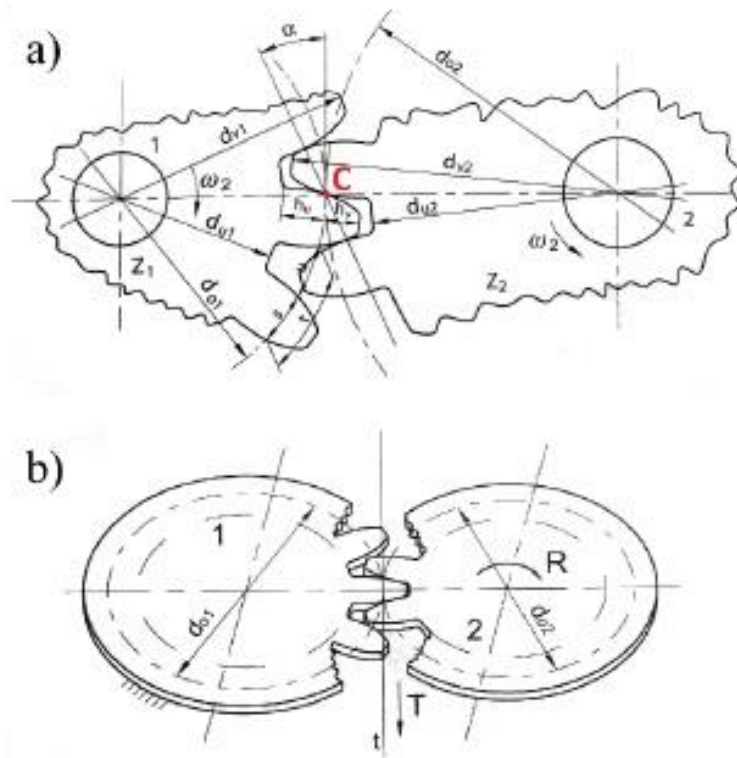
$$v = d_1 \cdot \pi \cdot n_1 = d_2 \cdot \pi \cdot n_2 \quad (2.4)$$



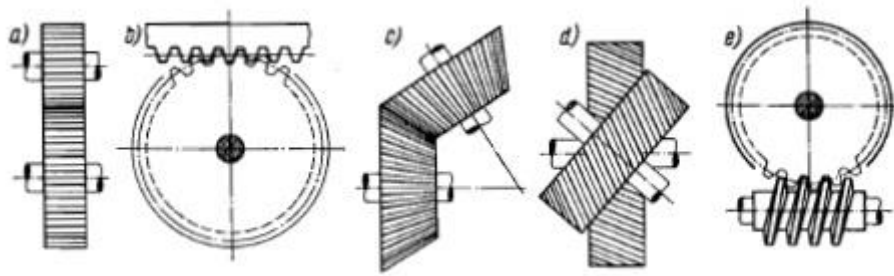
Slika 2.10 Primjer lančanog prijenosa [9].

2.4 Zupčani prijenos

Zupčani prijenosnici su elementi koji neposredno prenose zakretni moment i gibanje, vezom oblika, zahvatom zubaca jednog zupčanika u međuzublja drugoga. Za razliku od remenskih i lančanih prijenosnika, zupčanom nije potreban prijenosni element. Razlikujemo prijenosnike sa stalnim prijenosnim omjerom, mjenjači brzina i razdjelni prijenosnici. Prijenosnici sa stalnim prijenosnim omjerom se koriste između pogonskog i radnog stroja. Kod mjenjača brzine se dovođenjem u zahvat različitih zupčanika prijenosni omjer može mijenjati. Razdjelni prijenosnici se koriste za istodobni pogon više vratila [4, 5].



Slika 2.11 Način prijenosa gibanja: a) par zupčanika evolventnog ozubljenja u zahvatu; b) zupčani zglob: 1) nepomični zupčanik, 2) zupčanik koji se apsolutno giba (R – rotacija, T - translacija) [5].



Slika 2.11 Osnovni oblici zupčanika: a) čelnici, b) ozubnica, c) stožnici, d) vijčanici, e) puž i pužno kolo [4].

Prednosti zupčanih prijenosnika [10]:

- visok stupanj djelovanja ($\geq 0,98$)
- velika trajnost i sigurnost u pogonu
- male dimenzije
- mogu se upotrebljavati za prijenos snage i brzine vrtnje širokog raspona vrijednosti
- jednostavno održavanje

Nedostaci zupčanih prijenosnika [10]:

- najskuplji od mehaničkih prijenosnika (izuzev pužnih)
- vibracije i šumovi zbog krutog prijenosa okretnog momenta
- zahtijeva se vrlo točna obrada

Prijenosni omjer zupčanika (2.5), gdje je: i - prijenosni omjer; n_1, n_2 , (min^{-1}) - brzina vrtnje zupčanika; ω_1, ω_2 , (rad/s) – kutne brzine zupčanika [5]:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2.5)$$

Modul se izračunava prema izrazu (2.6) gdje je: m , (mm) – modul; p , (mm) - korak; d , (mm) – promjer diobene kružnice; z - broj zubaca (5):

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z} \quad (2.6)$$



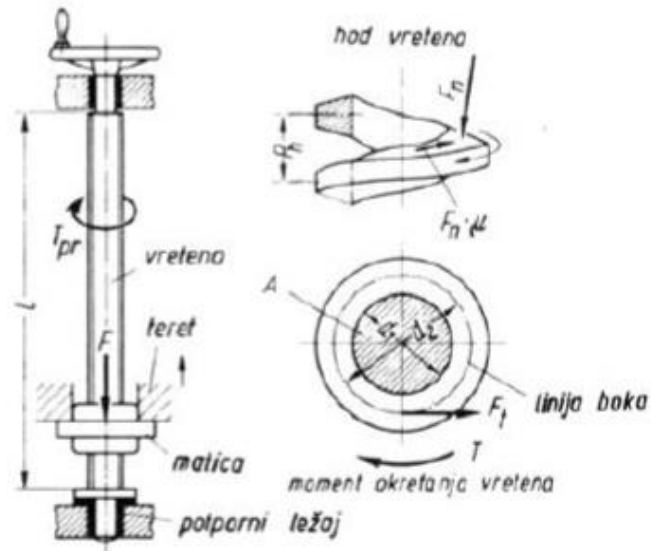
Slika 2.13 Primjer zupčanog prijenosa [11].

2.5 Vijčani prijenos

Vijčani prijenosnik ostvaruje prijenos i pretvorbu gibanja iz rotacijskog u translacijsko i obrnuto s jednim ili dva vijčana zgloba. Prijenosnici se sastoje od triju dijelova povezanih trima zglobovima od kojih su jedan ili dva vijčani. U vijčanom prijenosu postoji veza matice i vijka. Vijak ima vanjski navoj, dok matica ima unutarnji, te čine vijčani zglob. Zbog veze ostvarene navojem koraka, gibanje je stoga navojno. Prema broju vijčanih zglobova, vijčani prijenosnici mogu biti jednostruki ili dvostruki. Danas se često koriste kuglična vretena i matice tamo gdje se zahtjeva velika preciznost i brzina, dok su trapezni pogoni za manje zahtjevne i robusne primjene [5].

Vijčani prijenosnici mogu obavljati tri vrste pretvorbi gibanja, a to su [5]:

- pretvorba vrtnje u pravocrtno gibanje, i obrnuto
- pretvorba navojnoga gibanja u pravocrtno gibanje i obrnuto
- pretvorba vrtnje u navojno gibanje i obrnuto



Slika 2.14 Shema pogona jednostrukog vijčanog prijenosnika [4].

Prijenosni omjer sila sa trenjem (2.7) gdje je: i_f – prijenosni omjer; F_1 , (N) – sila na obodu vretena; F_2 , (N) – sila u smjeru uzdužne osi matice; α , ($^\circ$) – kut uspona zavojnice navoja; δ , ($^\circ$) – kut trenja [5]:

(2.7)

$$i_f = \frac{F_1}{F_2} = \tan \alpha$$

Prijenosni omjer sila bez trenja [5]:

(2.7)

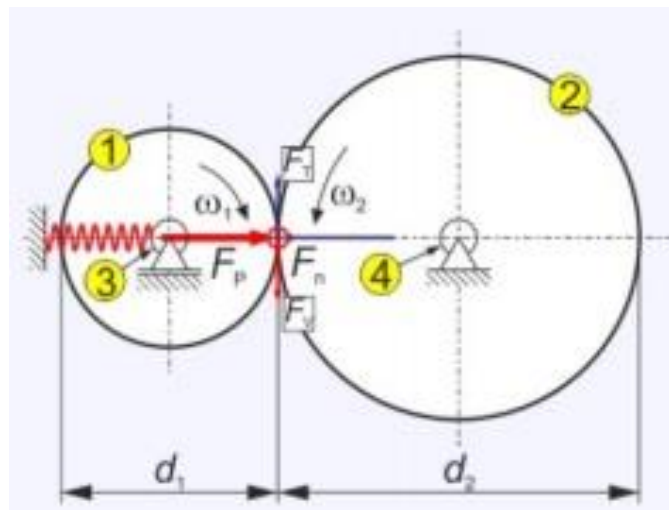
$$i_f = \frac{F_1}{F_2} = \tan(\alpha + \delta)$$



Slike 2.15 Primjer vijčanog prijenosa [12].

3. TARNI PRIJENOS

Tarni prijenosnici su prijenosnici s neposrednim dodirnom tarnih tijela čiji se rad zasniva na prijenosu obodne sile trenjem između dodirnih površina dviju ili više tarenica. Usljed trenja, tarenice koje su pritisnute jedna uz drugu dovoljnom silom, prenose okretni moment s pogonskog vratila na gonjeno vratilo. Pri tome je smjer okretanja tareničkog para suprotan. Najjednostavniji oblik tarnog prijenosa su dvije tarenice u obliku valjka (slika 3.1). Zbog ovog načina prenosa, može doći do proklizavanja i puzanja. Proklizavanje je definirana zaštita protiv preopterećenja u odnosu dviju tarenica. Proklizavanje se samo po sebi moguće izbjeći, dok se puzanje ne može. Trenje ovisi o izboru materijala od kojega su tarenice izrađene ili kojim su obložene, te o međusobnom pritisku tarenica. Iskoristivost tarnih prijenosnika iznosi $\eta = 0,85 - 0,95$ [4, 5].



Slike 3.1 Najjednostavniji oblik tarnog prijenosa:

1 – pogonska tarenica, 2 – gonjena tarenica, 3 – pogonsko vratilo, 4 – gonjeno vratilo [2].

Tarni prijenosnici se izvode s paralelnim i ukrštenim osima. U slučaju sparivanja tvrdog i mekog ili korištenja mekih materijala - dimenzije, sile na ležajeve, klizanje i stupanj iskorištenosti su manji nego kod remenskog prijenosa. Istodobno su osni razmak, težina i cijena manji od remenskog. Kod tvrdog sparivanja pojavljuje se buka, a potrebno je i podmazivanje prijenosnika [2, 5].

Prednosti primjene tarnih prijenosnika [13]:

- jednostavni i jeftini
- jeftino održavanje
- nemaju posrednih elemenata
- moguće postići velike prijenosne omjere
- miran i tih rad
- mali osni razmak

Nedostaci tarnih prijenosnika [13]:

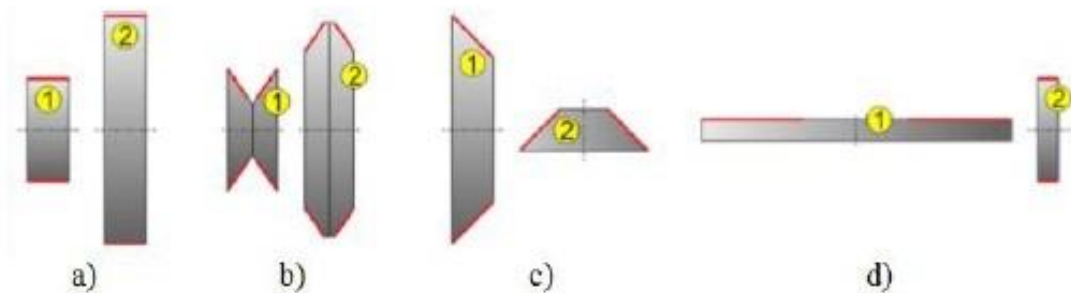
- mali stupanj iskoristivosti
- veliko opterećenje na vratila i ležajeve
- mogućnost proklizavanja tarenica
- zagrijavanje i trošenje tarnih površina tarenica
- puzanje materijala

3.1 Vrste tarnog prijenosa

Tarne prijenosnike možemo podijeliti prema obliku obodnih površina tarenica, uzajamnom položaju prijenosnika te prema mogućnosti mijenjanja prijenosnog omjera. Kod korištenja tarnih prijenosnika važan je i oblik samih tarenica [5].

Prema obliku obodnih površina tarenica dijele se na [5]:

- valjkaste
- klinaste
- stožaste
- pločaste ili tanjuraste
- kuglaste
- globoidne

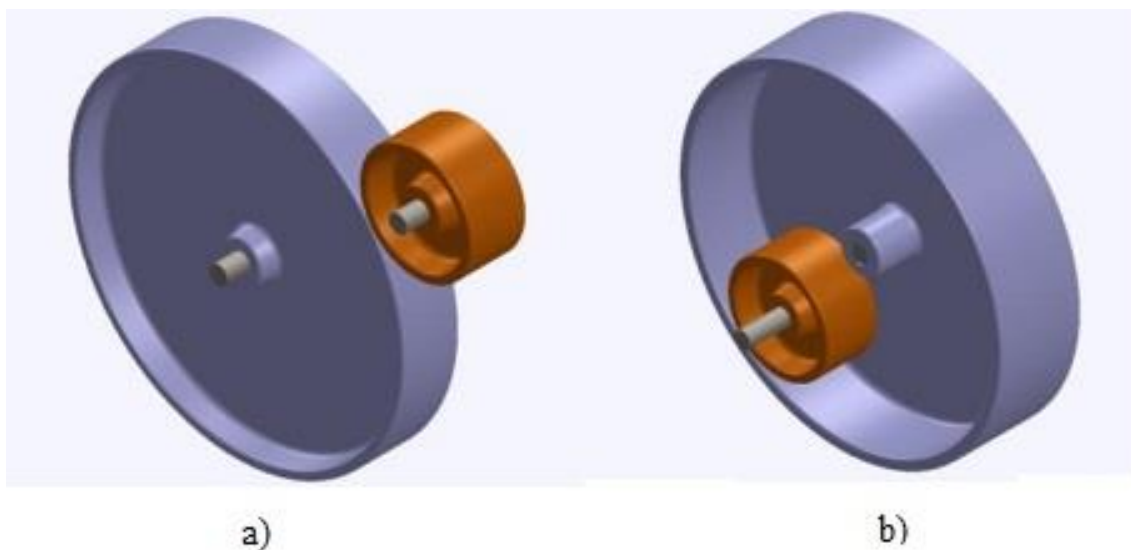


Slika 3.2 Oblici tarenica kod tarnih prijenosnika:

a) valjkaste; b) klinaste; c) stožaste; d) pločaste; e) kuglasta; f) globoidna [2].

Od svih navedenih oblika, valjkaste tarenice se najčešće upotrebljavaju za prijenos okretnog momenta kod paralelnih vratila. Da bi se postiglo trenje za prijenos, tarenice se međusobno tlače oprugom, polugom, utegom ili na neki drugi način gdje se tlak može regulirati [2].

Prema međusobnom položaju tarenica, valjkasti tarni prijenosnici se mogu podijeliti na vanjske i unutarnje tarne prijenosnike (slika 3.3). Izvedba vanjskog tarnog prijenosnika je jednostavnija i češće upotrebljavana, dok je izvedba unutarnjeg tarnog prijenosnika kompaktnija i korisnija kada želimo postići veliki prijenosni omjer [2].



Slika 3.3 Izvedbe valjkastih tarnih prijenosnika s obzirom na međusobni položaj: a) vanjski tarni prijenosnik; b) unutarnji tarni prijenosnik [2].

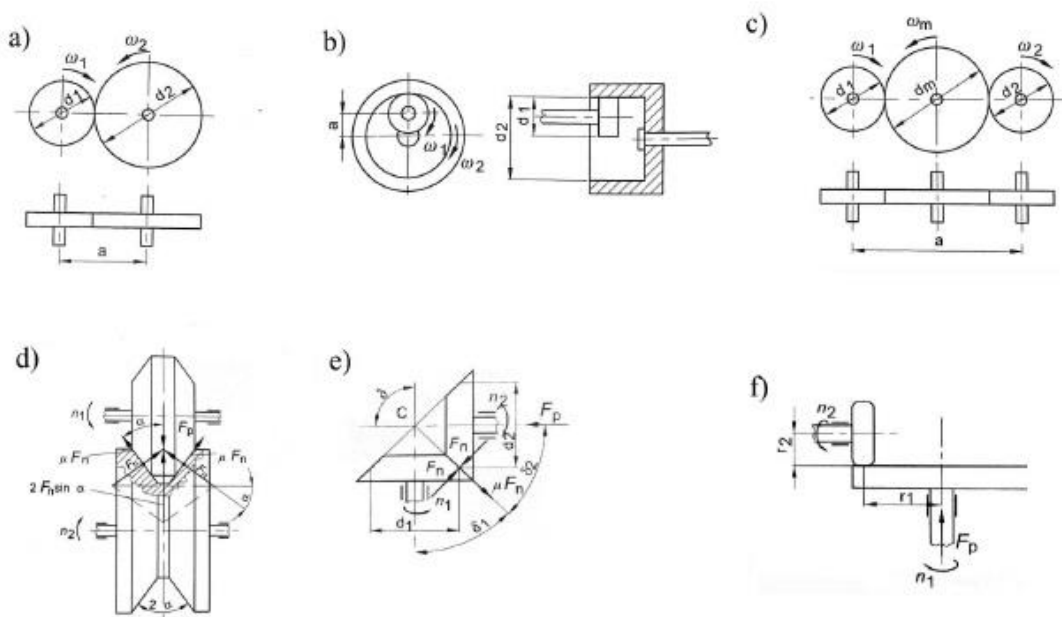
Klinaste tarenice se malo upotrebljavaju, a koriste se za potrebe prijenosa većih obodnih sila, a uz to smanjenje opterećenja ležajeva i savijanja vratila. Uglavnom služe kao privremeni pogon zbog česte pojave klizanja i trošenja materijala. Izrada je skuplja, ali je zato za prijenos potrebna manja sila pritiska. Kod klinastih tarenica opterećenje je smanjeno jer se pritisak na vratilu podijeli po bokovima klina. Kutovi bokova klinaste tarenice obično iznose između 30° i 40°. Za prijenos većih momenata tarenice najčešće imaju više žljebova (3 do 5) jer jedan nije dovoljan za prijenos snage. Stožaste tarenice se koriste kod prijenosnika s vratilima koji se križaju pod različitim kutovima (najčešće pod kutom od 90°). Nedostatak im je veliko opterećenje ležajeva i opterećenje vratila na savijanje. Pločasta/tanjurasta tarenica upotrebljava se za mimoilazne osi. Koristi se u kombinaciji sa valjkastom tarenicom [4].

Tarne prijenosnike se još može podijeliti i prema njihovoj zadaći [4]:

- tarni prijenosnici s konstantnim prijenosnim omjerom ($i = \text{konstantan}$)
- tarni prijenosnici promjenjivog prijenosnog omjera
- tarni prijenosnici za promjenu smjera vrtnje
- tarni prijenosnici za pretvorbu kružnoga gibanja u pravocrtno

3.2 Prijenos s konstantnim prijenosnim omjerom

Prijenos s konstantnim prijenosnim omjerom se koristi kod malih razmaka osi, između usporednih osi, osi koje se križaju i osi koje se mimoilaze te manjih snaga. Valjkaste i klinaste tarenice se primjenjuju za prijenos između usporednih osi, stožaste tarenice za prijenos između osi koje se križaju, a pločaste/tanjuraste za prijenos kod mimoilaznih osi. Slika 3.4 prikazuje primjere izvoda prijenosnika s konstantnim omjerom [4, 5].



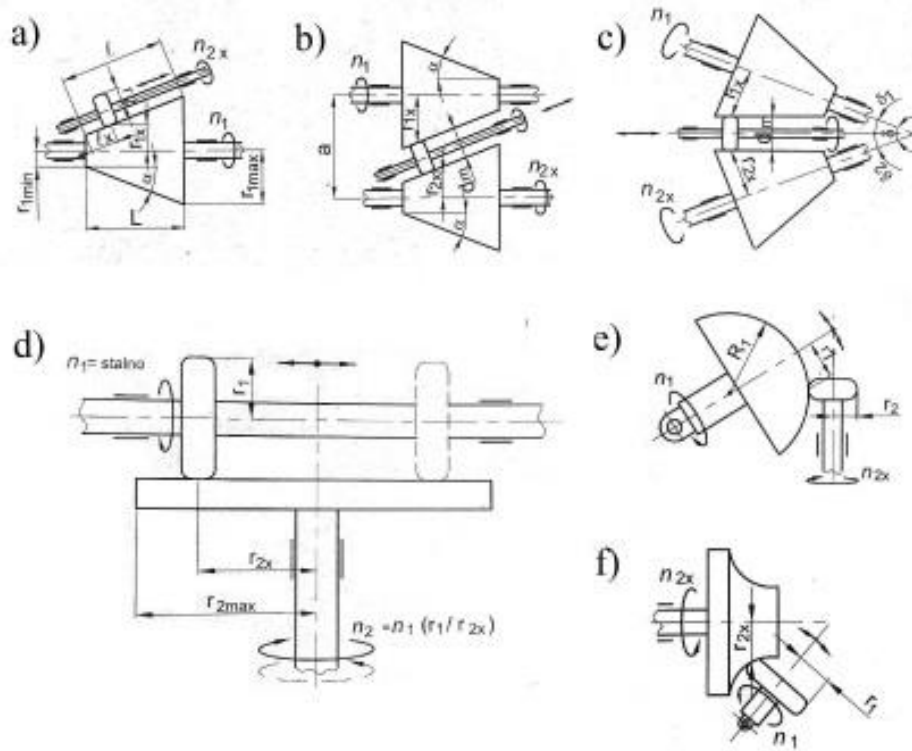
Slika 3.4. Tarni prijenosnici sa konstantnim prijenosnim omjerom (*i*):

a) valjkasti s dvjema tarenicama vanjskog dodira, b) valjkasti s međutarenicom, c) valjkasti s dvjema tarenicama unutarnjeg dodira, d) s klinastim tarenicama, e) sa stožastom tarenicom, f) s tanjurastom tarenicom [5].

3.3 Prijenos s promjenjivim prijenosnim omjerom

Tarnim prijenosnicima se može postići kontinuirana promjena prijenosnog omjera. Moguće je za konstantu brzinu vrtnje pogonskog stroja radni stroj regulirati različitim brzinama vrtnje. Promjena prijenosnog omjera je neprekinuta. Takvi se tarni prijenosnici nazivaju varijatori. Mogu se izvesti razne izvedbe tarenica za takav pogon. Neke od važnijih izvedbi ovih prijenosnika su prijenosnici sa stožastom tarenicom, s dvjema stožastim tarenicama, s pločastom/tanjurastom tarenicom, s kuglastom tarenicom, s jednom ili dvjema globoidnim tarenicama te s punom i šupljom stožastom tarenicom. Kod izbora tarenica treba birati one kod kojih je puzanje, potrebna sila pritiska tarenica i time izazvano opterećenje materijala, najniže [5, 14].

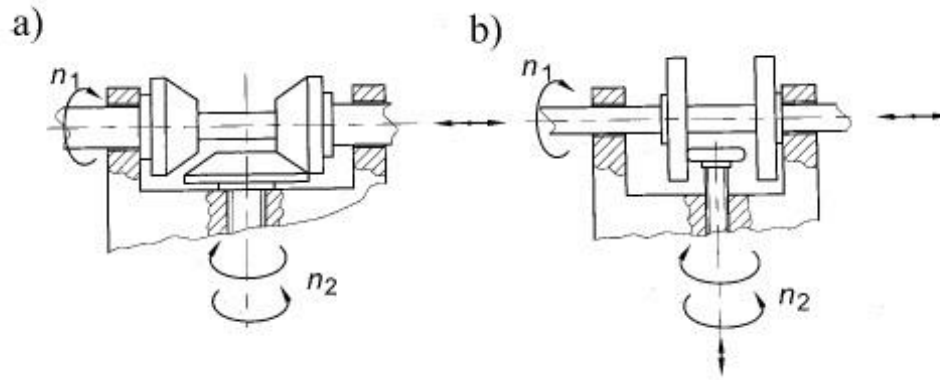
Konstrukcija im je jednostavna i jeftina. Kod izbora tarenica u ovim prijenosnicima važno je su tarenice od materijala koji je što otporniji na tangencijalno puzanje, da ima što manja naprezanja i materijala kod kojeg nije potreban veliki pritisak da bi prenosio moment. Tarni prijenosnici za promjenu prijenosnog omjera prikazani su ns slici 3.5 [5, 15].



Slika 3.5 Tarni prijenosnici za promjenu prijenosnog omjera:

- a) s jednom stožastom tarenicom, b) s dvjema stožastim tarenicama usporednih osi, c) s dvjema stožastim tarenicama čije se osi križaju pod kutem, d) s tanjurastom tarenicom, e) s kuglastom tarenicom, f) s globoidnom tarenicom [5].

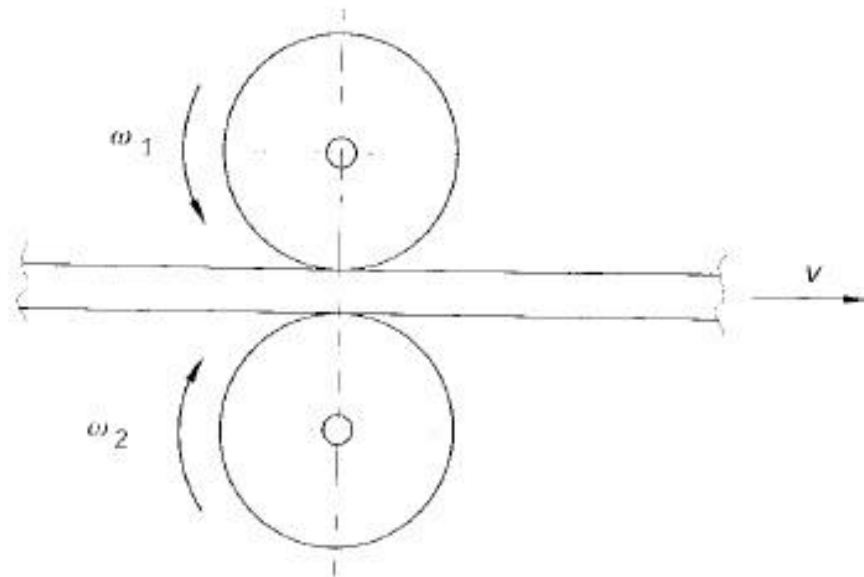
Tarni prijenosnici za promjenu smjera vrtnje omogućuju gonjenome vratilu dva različita izlazna smjera vrtnje, te mogu biti izvedeni kao prijenos sa konstantnim ili sa promjenjivim prijenosnim omjerom. Na slici 3.6 su prikazani prijenosnici za brzu promjenu smjera [5].



Slika 3.6 Tarni prijenosnici za brzu promjenu smjera:

- a) sa stožastim tarenicama za brzu promjenu smjera uz konstantan prijenosni omjer; b) sa dvjema tanjurastim tarenicama za brzu promjenu smjera i promjenu prijenosnog omjera [5].

Izvedba tarnog prijenosnika za pretvorbu vrtnje u pravocrtno gibanje se sastoji od dviju valjkastih tarenica koje se vrte u suprotnome smjeru prikazana na slici 3.7 Između tarenica se stavlja element kojega će tarenice pravocrtno pomicati [5].



Slika 3.7 Tarni prijenosnik za pretvorbu vrtnje u pravocrtno gibanje [5].

4. MATERIJALI ZA IZRADU TARNIH PRIJENOSNIKA

Za tarenice, kao prijenosnika trenjem vrlo je bitno da su izrađene od materijala s velikim faktorom trenja i dobre otpornosti na trošenje i puzanje. U tu skupinu spadaju različiti metali i nemetali te eventualne njihove kombinacije: metal-metal, metal-nemetal i nemetal-nemetal. Najvažniji materijali koji se koriste za izradu tarenica su čelici, sivi lijev, guma, bronca, mjedi, dural, polimerni materijali, te polimerni kompoziti. Dok se za obloge koriste se i materijali poput kože i papirne ljepenke. Tarenice mogu biti u potpunosti izrađene od jednog materijala ili se na tijelo tarenice stavlja obloga od nekog određenog materijala velikog faktora trenja. Koriste se i materijali poput kože i papirne ljepenke kao obloge tarenica [5].

Tablica 4.1 Koeficijenti suhoga trenja parova materijala za tarenice [5].

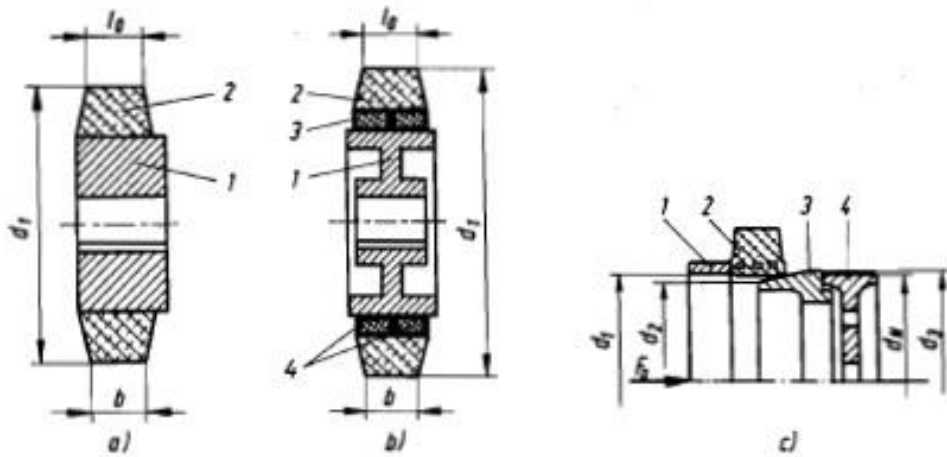
Par materijala: pogonska tarenica – izvršna tarenica	Koeficijent suhoga trenja (μ)
guma – papirna ljepenka	0,2
guma . guma	0,3 do 0,5
bronca – guma	0,32
bronca - koža	0,2
čelik – guma	0,46 do 0,5
čelik – koža	0,3 do 0,6
čelik – polimerni materijal	0,4
čelik – papirna ljepenka	0,4
duralumin – bronca	0,22
čelik – dural	0,17
čelik – mjed ili bronca	0,15 do 0,2
čelik – čelik	0,1 do 0,18

Potreba za velikim međusobnim pritiscima tarenica od kovina se javlja zbog niskih koeficijenata trenja, kako bi došlo do prijenosa okretnog momenta. Faktor trenja iznosi $\mu \approx 0,04$ do 0.08. To dovodi do visokih opterećenja ležajeva vratila. Najčešće se koriste za izradu tareničkih prijenosnika s mogućnošću kontinuirane promjene prijenosnog omjera. Kod malih diferencijalnih puzanja tarenice rade na suho, a pri višim diferencijalnim puzanjima tarenice se podmazuju uljem. Tarenice od kovine omogućavaju prijenos velikih snaga uz male gubitke i dug vijek trajanja zbog male hrapavosti i visoke tvrdoće površina tarenica. Kao materijal se najčešće koristi kaljeni čelik sa HRC = 60. Prilikom odabira materijala za tarenice treba uzeti u obzir odabir tvrdih materijala, jer visoke temperature imaju loš utjecaj na mekane materijale. Obloge se pričvršćuju vijcima, zakivanjem, vulkaniziranjem, lijepljenjem ili prešanjem [4].

Sivi lijev – dopušteni pritisci su manji od dopuštenih pritisaka za čelike. Zbog svojih kompliciranih oblika ili velikih dimenzija, sivi lijev je u prednosti za izradi takvih oblika. Najčešće se koriste u kombinaciji s gumom ili prešanom plastičnom masom. Tarenice od sivog lijeva rade na suho [4].

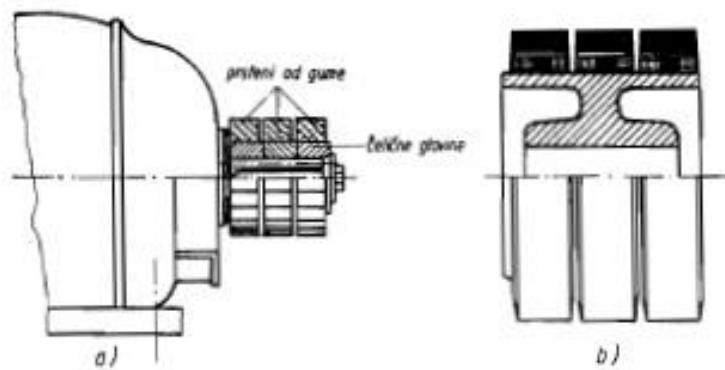
Guma – tarenice od gume sparene su u kombinaciji s čelikom ili sivim ljevom i imaju vrlo visok faktor trenja zbog čega za postizanje dovoljno velikih sila trenja pritisci mogu biti niski. Tarenički parovi guma/čelik i guma/sivi lijev rade vrlo tiho ali je zbog malog dozvoljenog pritiska za gumu veličina prenesene snage u prilično ograničena. Koriste se u većini slučajeva za prijenose s konstantnim prijenosnim omjerom. Diferencijalno puzanje treba biti malo [4].

Međutim tarenice od gume se zbog velikih deformacija jako zagrijavaju te je pritisak ograničen maksimalnom dozvoljenom radnom temperaturom gume koja se kreće od 60 do 70 °C. Guma koja se upotrebljava u izradi tarenica tvrdoće je 80 do 90 Shore-a, i mora biti otporna na trošenje te postojana prema temperaturi i starenju. Najčešću izvedbu tarenica od gume prikazuje slika 4.1. Slika 4.1 a) prikazuje gumeni prsten koji je navulkaniziran na glavinu, dok je na slici 4.1 b) gumeni prsten s ulošcima od čelične žice koji je navučen prednaprezanjem na glavinu. Na slici 4.1 c) prikazan je uređaj za naprešavanje. Za potrebe veće širine montira se više tarenica, jedna pored druge, što je prikazano na slici 4.2 [4].



Slika 4.1 Tarenice od gume:

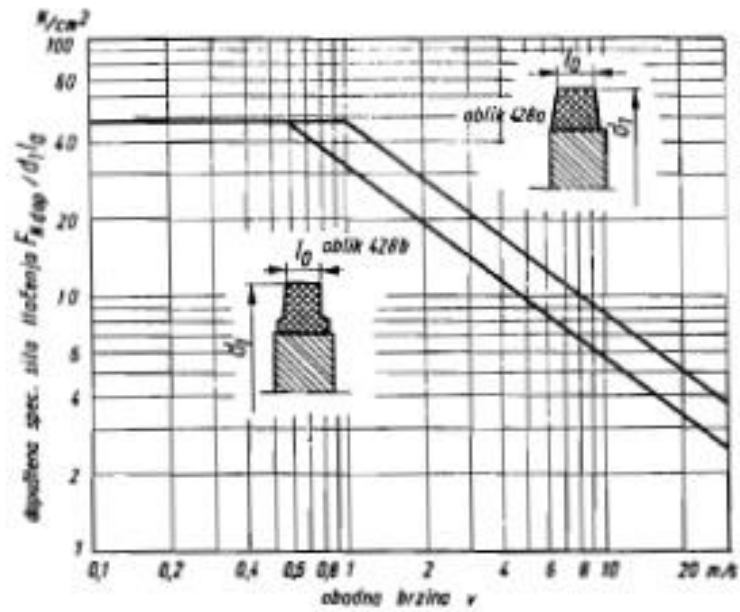
a) navulkanizirani gumeni prsten (1 je tijelo kotač, 2 prsten od gume), b) tarenica od gume sulošcima od čelične žice (1 tijelo kotača, 2 prsten od gume, 3 podloga, 4 žičana jezgra), c) uređaj za naprešavanje (1 prsten za uprešavanje, 2 prsten od gume, 3 prsten za širenje, 4 tijelo kotača) [4].



Slika 4.2 Tarenica od gume:

a) više poredanih jedna pored druge, b) više gumenih prstena navučenih na glavninu veće širine[4].

Dopuštenu silu međusobnog tlačenja tarenica svedenu na projekciju površine ovisno o obodnoj brzini prikazuje slika 4.3 [4].



Slika 4.3 Odnos $\frac{F_{Ndop}}{d_1 \cdot d_2}$ ovisno o obodnoj brzini [4].

Za materijale tarenica koriste se i plastični materijali, te laminati prešanog drveta koji su sparni sa tarenicama od čelika ili sivog lijeva. Takve tarenice se upotrebljavaju kod tarnih prijenosnika s konstantnim prijenosnim omjerom, te kod nekih izvedbi tarnih prijenosnika s mogućnošću kontinuirane promjene prijenosnog omjera [5]. Faktor trenja iznosi kod mekših materijala $\mu \approx 0,45$, dok kod tvrdih $\mu \approx 0,4$ [5].

5. PRORAČUN TARNIH PRIJENOSNIKA

5.1 Osnove proračuna

Prijenosni omjer tarnog prijenosnika izražen je formulom 5.1 gdje je: ω_1 , (rad/s) – kutna brzina pogonske tarenice; ω_2 , (rad/s) – kutna brzina gonjene tarenice; d_1 , (m) – promjer pogonske tarenice; d_2 , (m) – promjer gonjene remenice. Najveći prijenosni omjer za tarne prijenosnike je $i_{\max} = 25$, ali se u praksi ne preporučuje prelaženje vrijednosti preko 20 [5].

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (5.1)$$

Prijenos momenta od jedne tarenice na drugu ostvaruje se trenjem. Tarenice se tlačé međusobno silom F_N . Obodna sila F_t koju je moguće prenijeti ovisi o normalnoj sili F_N te faktoruu trenja μ kao što je prikazano izrazom (5.3). Gdje je: η – stupanj iskorištenja ($\eta = 0,75$ do $0,8$); μ – faktor trenja; T_1 , (Nm) – okretni moment; d_1 , (m) – srednji promjer pogonske tarenice [4].

$$F_t = \eta \cdot F_N \cdot \mu \quad (5.2)$$

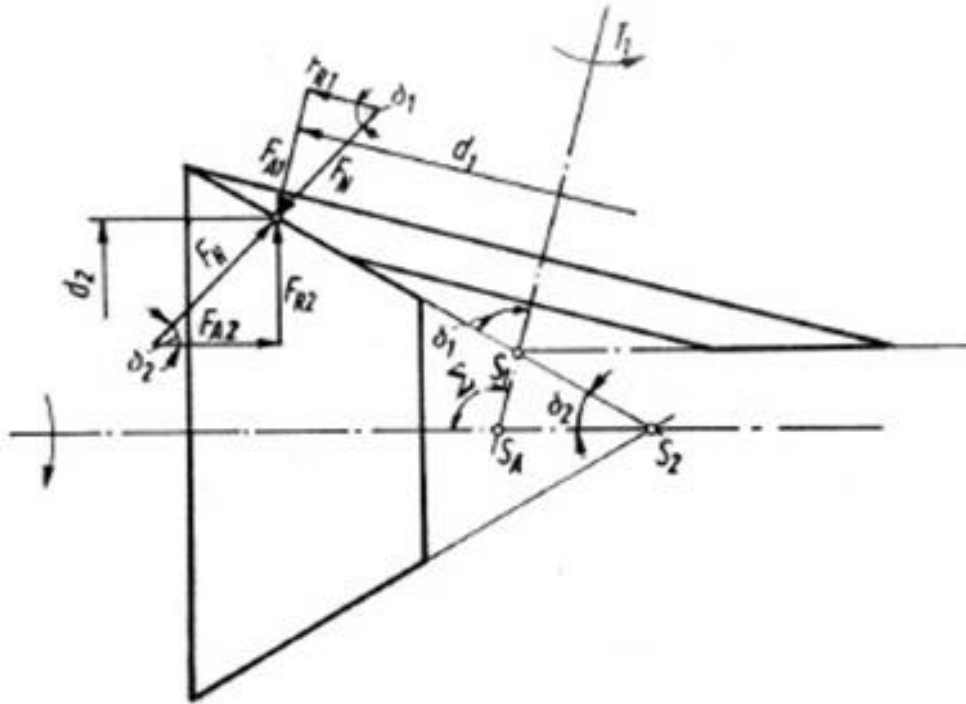
$$F_N = \frac{F_t}{\eta \cdot \mu} = \frac{2T_1}{d_1 \cdot \eta \cdot \mu} \quad (5.3)$$

Na slici 5.1 sila pritiska tarenica razlaže se na komponente koje kao uzdužne i poprečne sile opterećuju ležaje. Veličine komponenata iznose [4]:

$$F_{A1} = F_N \cdot \sin\delta_1 \quad F_{A2} = F_N \cdot \cos\delta_2 \quad (5.4)$$

$$F_{R1} = F_N \cdot \cos\delta_1 \quad F_{R2} = F_N \cdot \sin\delta_2 \quad (5.5)$$

gdje je: F_N , (N) – normalna sila; F_{A1}, F_{A2} , (N) – aksijalne komponente sile F_N ; F_{R1}, F_{R2} , (N) – radialne komponente sile F_N ; δ_1, δ_2 , ($^\circ$) – kutovi koje zatvaraju izvodnice stožaca i osi vrtnje [4].



Slika 5.1 Komponente sila pritiska tarenica [4].

5.2 Elastično i diferencijalno puzanje, brzine klizanja, sile

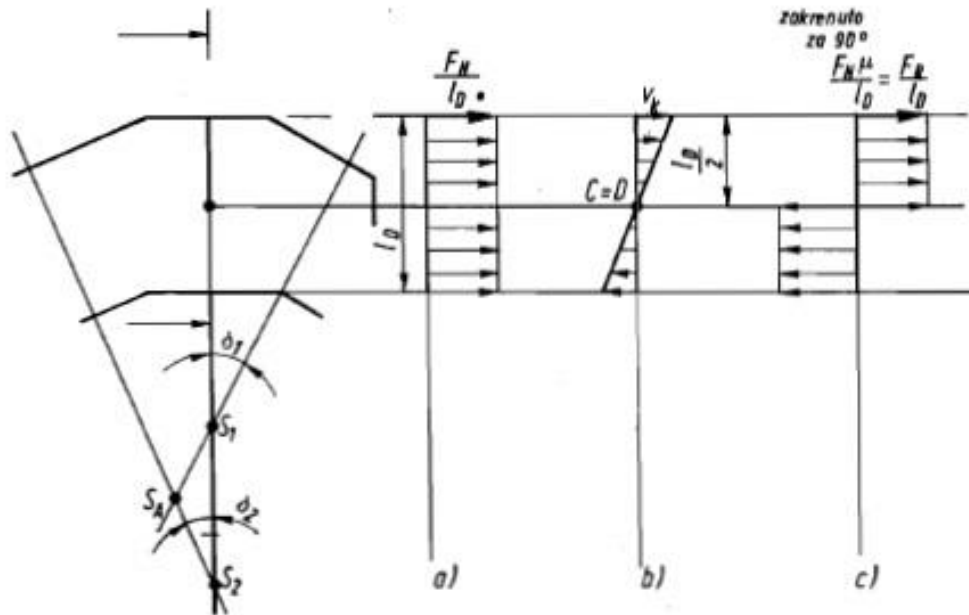
Također, na slici 5.1 vidljiva su tri slučaja za razmatranje brzina koje se javljaju u pojedinim točkama na liniji dodira, a to su [4]:

1. točke S_1, S_2 i SA poklapaju se
2. točke S_1, S_2 i SA ne poklapaju se, ali se ne prenosi ni okretni moment
3. točke S_1, S_2 i SA ne poklapaju se, okretni moment se prenosi

Budući da je elastično puzanje relativno nisko, može biti i zanemareno. Na slici 5.2 može se vidjeti obodna brzina u dodirnoj točki D , u sredini dodirne linije, proizlazi iz [4]:

$$v_{D1} = v_{D2} = \frac{d_1}{2} \cdot \omega_1 = \frac{d_2}{2} \cdot \omega_2 \quad (5.6)$$

gdje je: v_{D1}, v_{D2} , (m/s) – obodne brzine u sredini dodirne linije; d_1, d_2 , (m) - promjer tarenica; ω_1, ω_2 , (rad/s) - kutne brzine tarenica [4].



Slika 5.2 Specifična opterećenja, brzine klizanja i specifične sile trenja [4].

Na slici 5.3 prikazuju se odnosi brzina tarnog prijenosnika sa stožastim tarenicama, ako se ne prenosi okretni moment. Tada su brzine jednake za obje tarenice, pa je klizanje isključeno. Najveće brzine klizanja javljaju se na oba kraja dodirne linije i zbog ravnoteže trebaju biti međusobno jednake. Izrazi brzine klizanja dobivene iz geometrijskih odnosa su [4]:

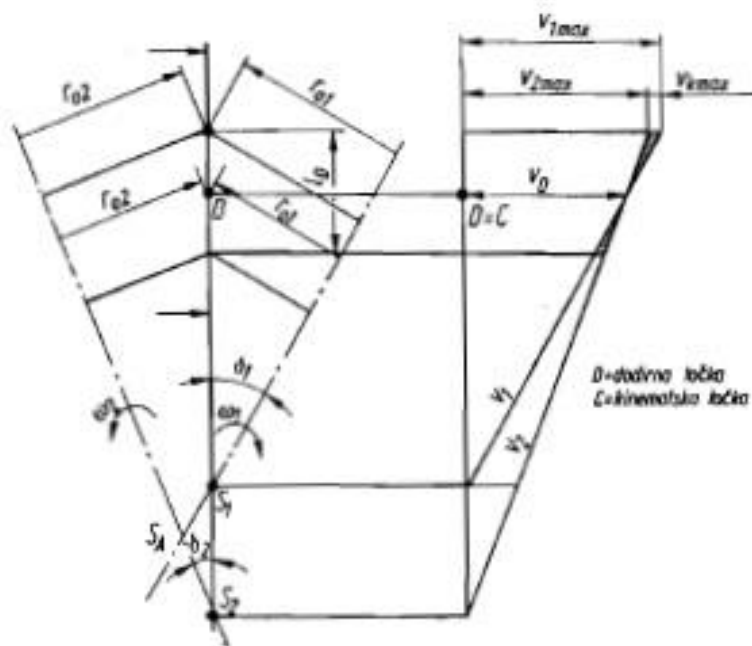
$$v_{kmax} = v_{1max} - v_{2max} \quad (5.7)$$

$$v_{kmax} = \left(r_{01} + \frac{l_D}{2} \cdot \sin\delta_1 \right) \cdot \omega_1 - \left(r_{02} + \frac{l_D}{2} \cdot \sin\delta_2 \right) \cdot \omega_2 \quad (5.8)$$

$$v_{kmax} = \frac{l_d}{2} \cdot \omega_1 \left(\sin\delta_1 - \frac{\sin\delta_2}{i} \right) = \frac{l_D}{2} \cdot \omega_D \quad (5.9)$$

$$\omega_D = \omega_1 \left(\sin \delta_1 - \frac{\sin \delta_2}{i} \right) \quad (5.10)$$

gdje je v_{kmax} , (m/s) – maksimalna brzina klizanja; v_{1max} , v_{2max} , (m/s) - maksimalne obodne brzine; r_{01}, r_{02} , (m) – srednji promjeri stožastih tarenica; l_D , (m) - duljina linije dodira; ω_1, ω_2 , (rad/s) – kutne brzine tarenica; δ_1, δ_2 , ($^\circ$)- kutovi koji zatvaraju izvodnice dodirnih stožaca i osi vrtnje; ω_D , (rad/s) – kutna brzina oko dodirne točke D i oko kinematske točke C; i – prijenisni omjer [4].



Slika 5.3 Brzine klizanja tarnog prijenosnika sa stožastim tarenicama [4].

Prema slici 5.4 u kinematskoj točki nema klizanja, što znači da su obodne brzine jednake. Na temelju toga, stvarni prijenosni omjer (izraz 5.11) može se izračunati pomoću odgovarajućih promjera. Uvrsti li se $r_{02}/r_{01} = u$ dobije se prijenosni omjer (izraz 5.12). Specifično klizanje, puzanje tada iznosi (izraz 5.13) [4].

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{02} - l_{DC} \cdot \sin \delta_2}{r_{01} - l_{DC} \cdot \sin \delta_1} \quad (5.11)$$

$$i = \frac{u - \frac{l_{DC}}{r_{01}} \sin \delta_2}{1 - \frac{l_{DC}}{r_{01}} \sin \delta_1} \quad (5.12)$$

$$i = \frac{u - \frac{l_{DC}}{r_{01}} \sin \delta_2}{1 - \frac{l_{DC}}{r_{01}} \sin \delta_1} \quad (5.13)$$

gdje je: u – prijenosni omjer izražen odnosom r_{02}/r_{01} ; r_{01}, r_{02} , (m) – srednji promjer stožastih tarenica; l_{DC} , (m) – duljina za koju je pomaknuta kinematska točka C od središta dodira; δ_1, δ_2 , ($^\circ$) – kutovi izvodnica dodirnih stožaca i osi vrtnje [4].

5.3 Proračun kontaktnih napreznja

Na dodirnim površinama dolazi do djelovanja opterećenja od kontaktnog napreznja. Prekoračenjem kontaktne čvrstoće nastaje pojava rupičavosti. Također, djelovanjem trenja stvara se toplina na mjestima dodira, koja može dovesti do nedopuštenog zagrijavanja na tim mjestima. Iz tog razlog se tarni prijenosnici proračunavaju na kontaktno napreznje, na trošenje i na zagrijavanje. Kontaktno napreznje računa se po Hertzovoj jednadžbi [4]:

- kontaktno napreznje:

$$p_H = 0,42 \sqrt{\frac{F_N \cdot E}{\rho \cdot l_D}} \leq p_{Ddop} \quad (5.14)$$

- relativni modul elastičnosti:

$$E = 2 \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \quad (5.15)$$

- relativni polumjer zakrivljenja

$$\rho = \frac{1}{1/\rho_1 + 1/\rho_2}, \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \quad (5.16)$$

- polumjeri zakrivljenja dopunskih stožaca

$$\rho_1 = \frac{r_{01}}{\sin\delta_1}, \quad \rho_2 = \frac{r_{02}}{\sin\delta_2}, \quad (5.17)$$

gdje je: p_H , (N/mm²) - maksimalno kontaktno naprezanje površine dodira; p_{Ddop} , (N/mm²) – dopuštena vrijednost dinamičke izdržljivosti kontaktnih naprezanja za razne kombinacije materijala tarenica (tablica 5.1); F_N , (N) – sila kojom su tarenice međusobno pritiskivane; E , (N/mm) – relativni modul elastičnosti; E_1, E_2 , (N/mm) – moduli elastičnih pojedinih tarenica; l_D , (mm) – duljina deformirane dodirne površine; ρ , (mm) – relativni polumjer zakrivljenja tarenica u presjeku okomitom na liniju dodira [4].

Tablica 5.1 Svojstva tarenica kod sparivanja materijala [4].

sparivanje materijala	E , N/mm ²	p_{Hdop} , N/mm ²	μ	W_T , N/mm ²	podmazivanje
guma/čelik ili guma/sivi lijev	40	1,2	0,8	$17 \cdot 10^7$	bez
plastična masa / čelik ili sivi lijev	8000	53	0,4	$1 \cdot 10^7$	bez
kaljeni čelik/kaljeni čelik	210000	1000	$0,2/\sqrt[3]{\rho}$	$625 \cdot 10^7$	ulje

5.4 Proračun trošenja

Gubitak snage je početni korak za proračun trošenja, koja se troši trenjem na dodirnoj površini. Na slici 5.4 prikazane su brzine klizanja i opterećenje, te prema njoj proračun iznosi [4]:

- snaga trenja

$$P_R = \frac{F_N \cdot \mu}{l_D} \left[\left(\frac{l_D}{2} + l_{DC} \right) \frac{1}{2} \left(\frac{l_D}{2} - l_{DC} \right) + \left(\frac{l_D}{2} - l_{DC} \right) \frac{1}{2} \left(\frac{l_D}{2} + l_{DC} \right) \right] \cdot \omega_D \quad (5.18)$$

$$P_R = F_N \cdot \mu \cdot l_D \cdot \omega_D \left[\frac{1}{4} + \left(\frac{l_{DC}}{l_D} \right)^2 \right] \quad (5.19)$$

$$P_R = F_N \cdot \mu \cdot l_D \cdot \omega_D \cdot q \quad (5.20)$$

- faktor

$$q = \frac{1}{4} + \left(\frac{l_{DC}}{l_D} \right)^2 = \frac{1}{4} + \frac{v^2}{4} = \frac{1}{4} (1 + v^2) \quad (5.21)$$

- kutna brzina, predznak (-) vrijedi ako su vrhovi stošca na jednoj strani točke D, a predznak (+) ako su vrhovi stošca s obje strane točke D

$$\omega_D = \omega_1 (\sin \delta_1 \pm \sin \delta_2 / u) \quad (5.22)$$

- stupanj gubitka

$$G = \frac{P_R}{P_1} \quad (5.23)$$

- pogonska snaga

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 = F_1 \cdot r_{01} \cdot \omega_1 = v \cdot F_N \cdot \mu \cdot r_{01} \cdot \omega_1 \quad (5.24)$$

- stupanj gubitka

$$G = \frac{F_N \cdot \mu \cdot l_D \cdot q \cdot \omega_1 (\sin \delta_1 \pm \sin \delta_2 / u)}{v \cdot F_N \cdot \mu \cdot r_{01} \cdot \omega_1} \quad (5.25)$$

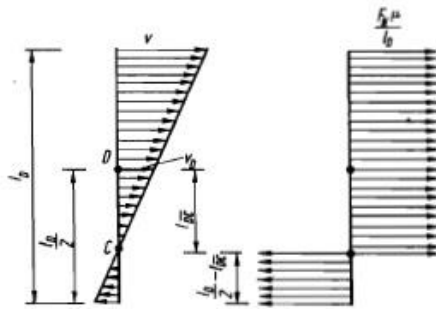
$$G = \frac{l_D \cdot q}{r_{01} \cdot v} \left(\sin \delta_1 \pm \frac{\sin \delta_2}{u} \right) \quad (5.26)$$

$$G = \frac{l_D}{r_{01}} \cdot q_R \left(\sin \delta_1 \pm \frac{\sin \delta_2}{u} \right) \quad (5.27)$$

- faktor gubitka

$$q_R = \frac{q}{\eta} = \frac{\frac{1}{4}(1 + v^2)}{\eta} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{v} + v \right) \quad (5.28)$$

gdje je: G – stupanj gubitka; P_R , (W) – snaga trenja; P_1 , (W) – dovedena snaga; F_t , (N) – obodna sila; v_1 , (m/s) – obodna brzina tarenice; r_{01} , (m) – polumjer pogonske tarenice; ω_1 , (rad/s) – kutna brzina pogonske tarenice; η - stupanj iskoristivosti; F_N , (N) – normalna sila; μ - koeficijent trenja; δ_1 , δ_2 , ($^\circ$) – kutovi koje zatvaraju izvodnice stožaca i osi vrtnje; u – prijenosni omjer r_{02}/r_{01} ; q – faktor = $(1 - v^2)/4$; l_D , (m) – duljina linije dodira; q_R – faktor gubitka [4].



Slika 5.4 Raspored brzina klizanja i opterećenja za dodir u liniji [4].

5.5 Proračun zagrijavanja

Da bi se zagrijavanje moglo dobiti, koristi se toplinska bilanca. Princip je da ako sredstvo za podmazivanje ne hladi, treba se cijela razvijena količina trenja dovesti preko površine kućišta. Iz tog proizlazi [4]:

$$P_{R1} = P_{TA} \quad (5.29)$$

- snaga koja se troši trenjem

$$P_{R1} = GP_1 = P_1 \cdot \frac{l_D}{r_{01}} \cdot q_r \left(\sin \delta_1 \pm \frac{\sin \delta_2}{u} \right) = \alpha_{TA} \cdot A_K (t_1 - t_2) \quad (5.30)$$

$$t_1 = \frac{P_1 \frac{l_D}{r_{01}} q_r \left(\sin \delta_1 \pm \frac{\sin \delta_2}{u} \right)}{\alpha_{TA} \cdot A_K} + t_2 \quad (5.31)$$

- temperatura površine kućišta

$$t_1 = \frac{P_{R1}}{\alpha_{TA} \cdot A_K} + t_2 \quad (5.32)$$

gdje je: P_{R1} , (W) – snaga koja se troši trenjem u jednom tarnom mjestu; P_{TA} , (W) – snaga (toplina) koja se odvodi površinom kućišta; P_1 , (W) – snaga koja se dovodi; G – stupanj gubitka na mjestu trenja; q_T - faktor gubitka; α_{TA} – faktor prijelaza topline; t_1 , (K) – temperatura na površini kućišta; t_2 , (K) – temperatura okolnog medija; A_K , (m²) – površina kućišta. Ako u prijenosniku ima više tarnih mjesta, dobiva se ukupna snaga koja se troši trenjem iz zbroja [4]:

$$P_R = P_{R1} + P_{R2} + \dots + P_{Rn} \quad (5.33)$$

5.6 Iskoristivost

Umnožak parcijalnih iskoristivosti mjesta prijenosa snage i iskoristivosti ostalih mjesta trenja daje ukupno iskoristivost. G – stupanj gubitka, $= P_R/P_1$ [4].

- ukupna iskoristivost

$$\eta_{uk} = \eta_T \cdot \eta_L \quad (5.34)$$

- iskoristivost tarnih mjesta

$$\eta_T = 1 - G = 1 - \frac{l_D}{r_{01}} \left(\sin \delta_1 \pm \frac{\sin \delta_2}{u} \right) \cdot q_R \quad (5.35)$$

- iskoristivost pojedinog ležajnog mjesta (za valjne ležaje)

$$\eta_l = 0,99 \text{ do } 0,995 \quad (5.36)$$

6. PRIMJERI PRIMJENE TARNIH PRIJENOSNIKA

Tarni su se prijenosi u prijašnjim vremenima više koristili za razliku od današnjeg modernijeg doba. Iako u manjoj primjeni, još se uvijek koriste u pojedinim sklopovima te su neizbježan način prijenosa gibanja. Primjenjuju se, u modernijim primjenama, kao što su printeri i ploteri, gdje se tarni prijenos koristi za provlačenje papira, biciklima gdje se koristi za pogon kotača, iako se većina bicikala izrađuje s lančanim prijenosom gibanja na kotače, teleskopima te varijatorima. Od starijih uređaja koristi se u magnetofonima, kasetofonima, šivaćim strojevima i kolicima.



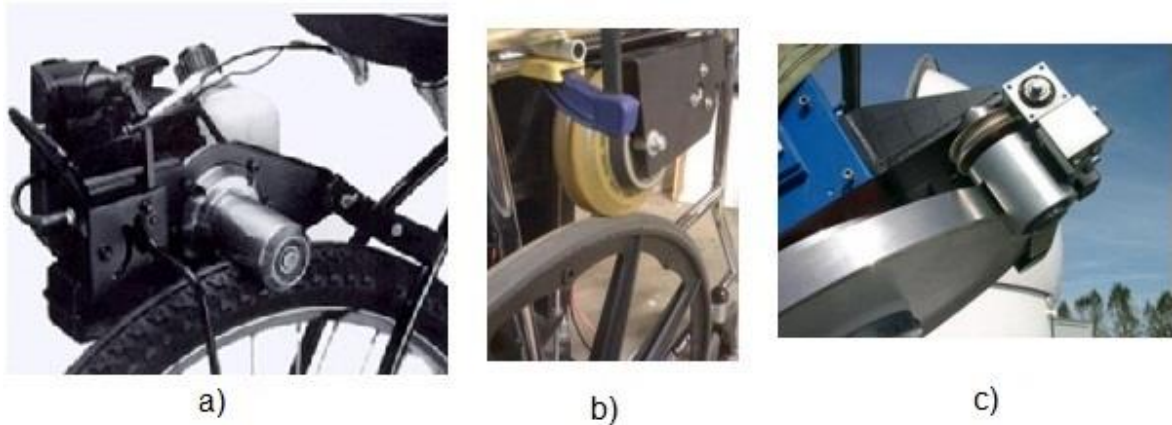
Slika 6.1 Primjena tarnog prijenosa u
a) printeru, b) ploteru, c) fotokopirnom uređaju [15, 16, 17].



Slika 6.2 Primjena tarnog prijenosa u magnetofonu [18].



Slika 6.3 Primjena tarnog prijenosa u šivaćem stroju.



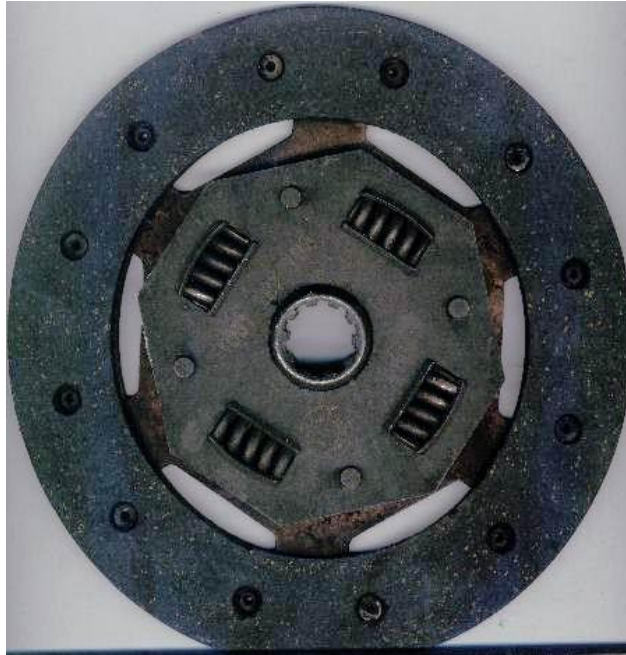
Slika 6.4 Primjena tarnog prijenosa na a) biciklu, b) kolicima, c) teleskopu [2].



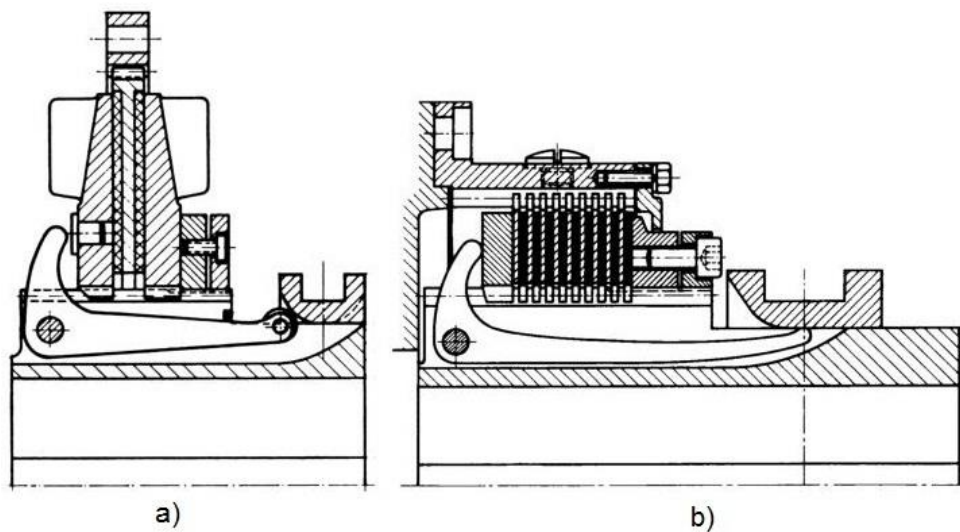
Slika 6.6 Primjena tarnog prijenosa na a) varijatoru automobila, b) varijatoru poljoprivrednog stroja [2].

6.1 Lamelne spojke i kočnice

Lamelna spojka spada u grupu uključno – isključnih spojki, a zbog prijenosa opterećenja trenjem u podgrupu tarnih spojki. Osnovna namjena spojki je međusobno spajanje vratila, dok ova grupa spojki i razdvaja međusobno vratila za vrijeme pogona pod opterećenjem [19].



Slika 6.6 Tarna lamelna spojka [20].

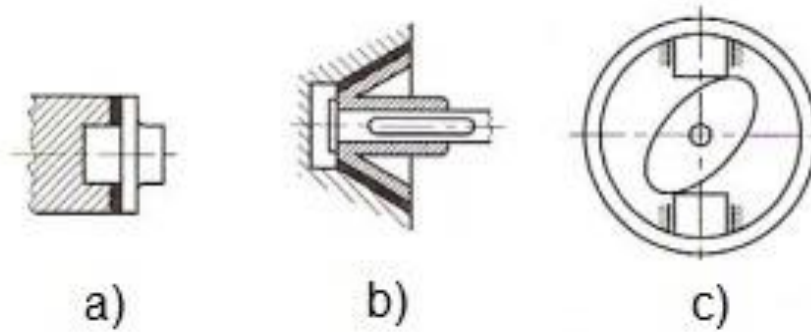


Slika 6.7 Shema tarne lamelne spojke: a) s jednom lamelom, b) s više lamela [21].

Tarne kočnice nalaze široku primjenu u raznim industrijskim granama. Omogućavaju jednostavne, jeftine, pouzdane i prilagodljive izvedbe [4].



Slika 6.8 Tarna kočnica [22].



Slika 6.9 Shema tarne kočnice: a) tarna s ravnim tarnim površinam . pločasta, b) tarna sa stožastim tarnim površinama, c) tarna kočnica s tarnim elementom u obliku elipse [5].

7. ZAKLJUČAK

Mehanički prijenosnici su često korišteni elementi u mehatronici. Iako tarni prijenosi nisu zastupljeni u mjeri kao u starija vremena, zbog svoje lake izrade i lakog pretvaranje kružnog gibanja u pravocrtno, te moguće postizanje velikih prijenosnih omjera koriste se u sklopovima u kojima su oni najbolji izbor prijenosa gibanja. Zbog svoje kompaktnosti su, bez posrednih elemenata jednostavni i jeftini. Najpoznatija današnja upotreba im je svakako u pisačima i fotokopirnim uređajima, dok su u ranijoj upotrebi služili u šivaćim strojevima i kasetofonima. Od svih mehaničkih prijenosnika valja spomenuti da se zupčani najviše koristi u mehatronici.

8. LITERATURA

- [1] http://nastava.gorigo.biz/wp-content/uploads/2018/05/MK_p10_sklopovi-za-prijenos-gibanja-uvod_WEB.pdf
- [2] <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/13-MehanickiPrijenosnici.pdf>
- [3] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=50343>
- [4] Decker, Karl Heinz: „Elementi strojeva-drugo, popravljeno izdanje“, Tehnička knjiga Zagreb, Zagreb, 1975.
- [5] Redep, Anđelka: „Finomehanika“ treće izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2008.
- [6] http://www.habasit.com/assets/slide_PTB_gear.jpg
- [7] <https://fw01vn2i4p-flywheel.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/01/V-Belt.jpg>
- [8] <http://komiflot.ru/images/publication/2015/publ/118-belt-drive-700.jpg>
- [9] <https://twentysix.ru/uploads/images/00/20/23/2012/12/28/bff333c470.jpg>
- [10] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_kons_stroj/nas/Mapa_ke3/ZUPCASTI%20PRIJENOS%20-%20uz%20predavanja.pdf
- [11] https://professor-falken.com/wp-content/uploads/2017/11/reloj-tiempo-mecanismo-engranajes-metal-Fondos-de-Pantalla-HD-professor-falken.com_.jpg
- [12] <https://docplayer.net/docs-images/66/54492374/images/35-2.jpg>
- [13] http://ss-strukovna-djurdjevac.skole.hr/skola/djelatnici/darko_spoljar1?dm_document_id=1682&dm_dnl=1
- [14] <http://marjan.fesb.hr/~spodrug/Elementi-640-predavanja/Predavanja%20es%20bgd%202006-2007.pdf>
- [15] <http://www.cillion.no/product/tonmpc6003blk/>
- [16] <https://i.cdn.nrholding.net/16489479/450/450>
- [17] https://www.m-computers.hr/slike/velike/canon-fotokopirni-uredaj-imagerunner-adv-can-kop-irac256i_1.jpg
- [18] <https://www.njuskalo.hr/image-bigger/hi-fi-ostalo/akai-4000ds-magnetofon-trake-slika-97201918.jpg>
- [19] Kostelac, Milan: „Lamelna spojka“, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Zagreb, 2008.
- [20] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/Clutchdisc.jpg>
- [21] <https://image2.slideserve.com/4870310/lamelne-tarne-spojke-n.jpg>

[22][http://www.rexnord.eu/fileadmin/user_upload/Images_Products/BSD Brake 200x200.jpg](http://www.rexnord.eu/fileadmin/user_upload/Images_Products/BSD_Brake_200x200.jpg)

9. OZNAKE I KRATICE

HRC - Hardness Rockwell C (postupak ispitivanja tvrdoće po Rockwell-ovoj C skali)

A_K , (m²) – površina kućišta

d , (mm) – promjer diobene kružnice

d_1, d_2 , (m) – promjeri remenica, lančanika, tarenice

E , (N/mm) – relativni modul elastičnosti

E_1, E_2 , (N/mm) – moduli elastičnih pojedinih tarenica

F_1 , (N) – sila na obodu vretena

F_2 , (N) – sila u smjeru uzdužne osi matice

F_{A1}, F_{A2} , (N) – aksijalne komponente sile F_N

F_N , (N) – normalna sila

F_{R1}, F_{R2} , (N) – radijalne komponente sile F_N

F_t , (N) – obodna sila

G – stupanj gubitka

i - prijenosni omjer

i_f – prijenosni omjer vijčanog prijenosnika

l_D , (m) – duljina linije dodira, duljina deformirane dodirne površine

l_{DC} , (m) – duljina za koju je pomaknuta kinematska točka

m - modul zupčanika

n_1, n_2 , (min⁻¹) - brzina vrtnje remenica, lančanika, zupčanika

P_1 , (W) – dovedena snaga

p , (mm) - korak

p_{Ddop} , (N/mm²) – dopuštena vrijednost dinamičke izdržljivosti kontaktnih naprezanja

p_H , (N/mm²) - maksimalno kontaktno naprezanje površine dodira

P_R , (W) – snaga trenja

P_{R1} , (W) – snaga koja se troši trenjem u jednom tarnom mjestu

P_{TA} , (W) – snaga (toplina) koja se odvodi površinom kućišta

q – faktor = $(1 - v^2)/4$

q_R - faktor gubitka

r_{01}, r_{02} , (m) – srednji promjeri stožastih tarenica

r_1, r_2 , (m) – polumjeri remenica

t_1 , (K) – temperatura na površini kućišta

t_2 , (K) – temperatura okolnog medija

T_1 , (Nm) – okretni moment

u – prijenosni omjer izražen odnosom r_{02}/r_{01}

v , (m/s) – brzina remena, lanca

$v_{1 \max}$, $v_{2 \max}$, (m/s) maksimalne obodne brzine

v_{D1} , v_{D2} , (m/s) – obodne brzine u sredini dodirne linije

$v_{k\max}$, (m/s) – maksimalna brzina klizanja

z_1 , z_2 - broj zubaca lančanika

α , ° – kut uspona zavojnice navoja

α_{TA} – faktor prijelaza topline

β , rad – obuhvatni kut male remenice

δ , ° – kut trenja, kutovi koje zatvaraju izvodnice stožaca i osi vrtnje

η – iskoristivost tarnih prijenosnika

μ - faktor trenja

ρ , (mm) – relativni polumjer zakrivljenja tarenica u presjeku okomitom na liniju dodira

ω_D , (rad/s) – kutna brzina oko dodirnih točaka

ω_1 , ω_2 , (rad/s) – kutne brzine remenica, lančanika, zupčanika, tarenica

10. SAŽETAK

Prijenosnici su sklopovi za prijenos gibanja dijelova mehatroničke konstrukcije čiji je zadatak prijenos sile i gibanja, mijenjanja brzine gibanja te pretvorbu gibanja. Prijenosnici se dijele na mehaničke, hidrauličke, pneumatske i električne. Mehanički prijenosnici su mehanizmi koji služe za prijenos i pretvorbu snage ili gibanja s pogonskoga na gonjeni dio nekog stroja, sa ili bez prilagodbe karakteristika izlaza pogonskog stroja potrebama ulaza radnog stroja pomoću mehaničkog sklopa. Vrste mehaničkih prijenosnika su: tarni, remenski, lančani, zupčani i vijčani. Tarni prijenosnici su prijenosnici s neposrednim dodirnom površinom tarnih tijela čiji se rad zasniva na prijenosu obodne sile trenjem između dodirnih površina dviju ili više tarenica. Uslijed trenja, tarenice koje su pritisnute jedna uz drugu dovoljnom silom, prenose okretni moment s pogonskog vratila na gonjeno vratilo. Pri tome je smjer okretanja tareničkog para suprotan. S obzirom na prijenos gibanja, postoje tarni prijenosnici s konstantnim i promjenjivim prijenosnim omjerom. Za tarenice, kao prijenosnika trenjem vrlo je bitno da su izrađene od materijala s velikim faktorom trenja i dobre otpornosti na trošenje i puzanje. U tu skupinu spadaju čelici, sivi lijev, guma, bronce, mjedi, dural, polimerni materijali, te polimerni kompoziti.

Ključne riječi: prijenosnici, mehanički prijenosnici, remenski, lančani, zupčani, vijčani, tarni prijenosnici, konstantni prijenosni omjer, promjenjivi prijenosni omjer, materijali tarenica

11. ABSTRACT

Transmissions are sets for transmiss motion parts of mechanical contractions whose job it is to transmit force and motion, changed speeds and conversion motion. Transmission are shared on mechanics, hydraulic, pneumatic and electrical. Mechanics transmissions are mechanisms which are used for transmit and conversion power or motion from drive to driven part of some machine, with or without adjustments characteristic output of drive machine needs of input of operating machine by mechanical sets. Types of mechanics transmissions are: friction, belt, chain, frictional and screw transfer. Friction transmits are transmissions with direct touch with friciton body whose work is based on transmit oblique force by friction between ouch surfaces two or more frictions. By friciton, friction which are pressed one by one by sufficient force, transmits torque from drive to driven shaft. The turning direction of friction couple is opposite. Considering on transmit of motion, there exist friction transmissions with constant and changing portable ratio. For friction-wheel, as transmit by friction it is important that they are made of material with great friction factor and good resistance on wear and crawl. In that group belong steels, gum, bronze, brass, dural, polymer materials and polymer compositions.

Keywords: transmissions, mechanics transmissions, belt, chain, frictional, screw transfer, friction, constant portable ratio, changing portable ratio, material for friciton

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>24.9.2018.</u>	BOŽO JAŽO	Božo Jažo

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

BOŽO JAŽO

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 24.9.2018.

Božo Jažo
potpis studenta/ice