

Rekapitulacija zadnjih predavanja

- Primjer jednačbe D'Amberta
- Jednačbe Langangea
- Primjer jednačbi Lagrangea (obrnuto njihalo, dvostruko njihalo, kolica s ovješnim njihalom, KONJ)

U ovom predavanju

- Mehaničke komponente u elektromehaničkom sustavu
- Prijenosnici snage i gibanja – vrste prijenosa (u većoj mjeri)
- Spojke, ležajevi (samo informativno)

MEHANIČKE KOMPONENTE

Primjeri mehaničkih komponenata u elektromehaničkim sustavima

- Prijenosnici snage i gibanja
- Spojke
- Ležajevi
- Kočnice
- Mehanizmi (primjer, brisači stakla, klizač s polugom,...)

Slijedeći prijenosnici snage i gibanja će biti objašnjeni

- Prijenosnici snage i gibanja
- Zupčasti prijenosnici (harmonijski i planetni)
- Remenski prijenosnici
- Lančasti prijenosnici
- Tarni prijenosnici

Prijenosnici snage i gibanja

- U mehaničkom dijelu mehatroničkog sustava gdje se odvija pretvorba električne (ili neke druge energije) u mehanički rad, razlikuju se dvije grupe strojeva, *pogonski i radni*.
- **Pogonski strojevi (aktuatori)** pretvaraju tu energiju u mehanički rad. U primjeni se često sreću kao elektromotori, turbine (vodene, plinske i parne), diesel i benzinski motori (automobilski motori)
- **Radni strojevi** su oni koji **dobivenu snagu od pogonskih strojeva pretvaraju u mehanički rad**.
- Neki karakteristični primjeri su **manipulatori, leteće škare za rezanje valjanih željeznih profila, alatni strojevi, dizala, rudnički izvozni strojevi,...**
- Snaga **P** koju radni stroj dobije od pogonskog stroja, karakterizirana je okretnim momentom **M** koji stroj razvija pri kutnoj brzini **Ω** .
- Postoje fizikalna ograničenja koja onemogućuju da se pri svakoj brzini vrtnje osovine pogonskog stroja razvije **maksimalna (nominalna) snaga**

Prijenosnici snage i gibanja

- Ako je snaga P **nazivna snaga pogonskog stroja** (pri **nazivnoj brzini** vrtnje Ω radnom stroju predaje se *nominalni* okretni moment M), tu snagu pogonski stroj ne može predati radnom stroju kod jako malih brzina vrtnje jer bi to zahtijevalo **višestruko povećanje nazivnog momenta**.
- To bi značilo da kod npr. **10% nazivne brzine vrtnje** pogonski stroj treba predati radnom stroju **10 puta veći moment od nazivnog** da bi se prenijela **nazivna snaga**.
- Za veliki **dio električnih motora** (aktuatora) razlog leži u ograničenju struje motora (**prekoračenje zagrijavanje namota!**)
- Isto tako kod **motora s unutarnjim izgaranjem**, **maksimalni okretni moment je ograničen količinom zraka koji se može usisati za jedan okretaj radilice** da bi izgorjela određena količina goriva.
- Prema tome, i za električni i za benzinski (ili dizel, njem *Diesel*) motor **maksimalni okretni moment je određen i ograničen njegovom definiranom konstrukcijom i napajanjem**.

Prijenosnici snage i gibanja

- S druge strane, radni strojevi zahtijevaju okretne momente u brzine vrtnje u širokim rasponima, kontinuiranu promjenu brzine
- Nekad se zahtijeva **pokretanje s punim opterećenjem stroja**, pa pogonski stroj u toj situaciji mora osigurati moment za savladavanje opterećenja (moment tereta) i moment za ubrzanje masa.
- Za neke slučajeve problem se može riješiti **direktnim zahvatima u pojačalu aktuatora** (pogonskog stroja)
- Primjer je trofazni **električni motor** kao pogonski stroj (aktuator) koji je **upravljan iz frekvencijskog pretvarača** (pojačala).
- Ovakvom izvedbom je moguće osigurati **maksimalni moment praktički u cijelom rasponu brzina** od nule do maksimalne brzine.
- Naravno, ovo vrijedi samo onda ako je **maksimalni moment pogonskog stroja dovoljan radnom stroju** za obavljanje njegove funkcije.
- Ukoliko to nije ispunjeno, onda je nužno osigurati ugradnju posebnog uređaja (**mehaničkog “interfejsa”**) između pogonskog i radnog stroja. Uobičajen naziv za takav uređaj je **prijenosnik snage i gibanja**, **pretvarač momenta i brzine** ili ukratko **mehanički pretvarač**.

Prijenosnici snage i gibanja- Mehanički pretvarači

- Ima više definicija prijenosnika snage i gibanja, odabrana je ona prema [1]

“Sklop između pogonskog i radnog stroja, sastavljen od najmanje tri člana koji obavljaju transformaciju gibanja i energije pogonskog stroja, prilagođenih radnom stroju, a na čije sve glavne članove djeluju konačni okretni momenti “.

- Funkcija **prijenosnika** u osnovi jeste da **prenosi snagu i gibanje**, ali u većini slučajeva je i **preobražava**. To znači da prihvaćeni naziv **prijenosnik** u potpunosti ne odgovara funkciji koju obavlja.
- Međutim, ako bi se pod pojmom **prijenosnik** prihvatila samo funkcija **prijenosa snage tog sklopa**, onda bi se u skupinu prijenosnika mogle uvrstiti i **spojke**.
- Bez obzira koja se definicija za prijenosnik prihvati, mora se poznavati bitna razlika između spojke i prijenosnika - spojka u procesu prijenosa snage **ne mijenja gibanje** niti **energiju** (snagu).

$$|M_p| = |M_s|, \quad n_p \geq n_s, \quad P_p \geq P_s$$

SPOJKA

$$|M_p| \neq |M_s|, \quad n_p \leq n_s, n_p > n_s, \quad P_p > P_s$$

PRIJENOSNIK

OSNOVNI POJMOVI PRIJENOSA SNAGE I GIBANJA

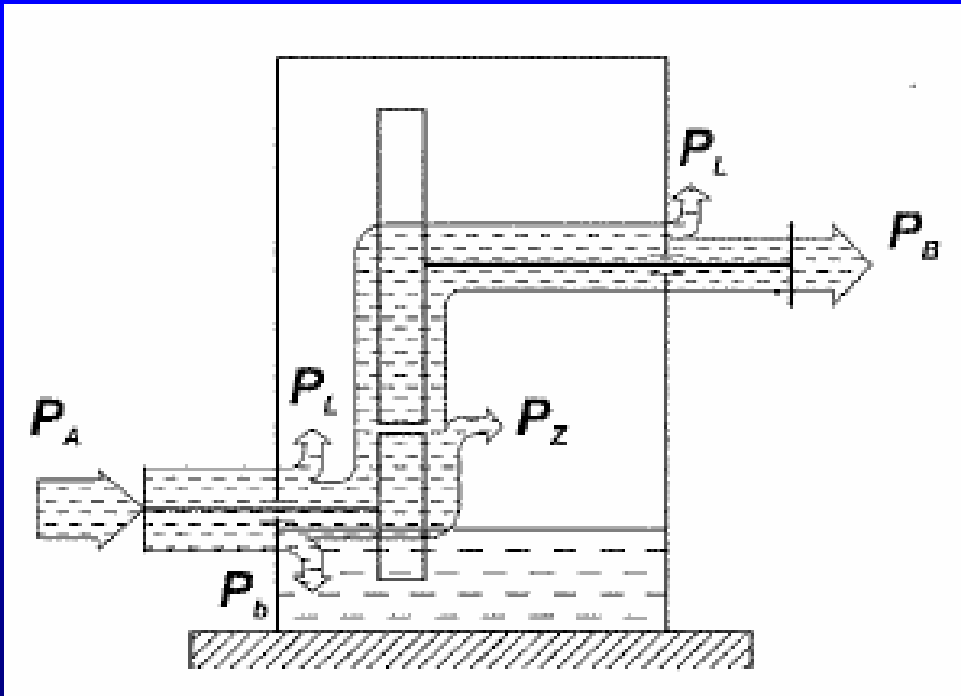
- Uobičajeni pojmovi su:
 - *prijenosni omjer*,
 - *brzine vrtnje ulaznih (pogonskih) i izlaznih (radnih) vratila*,
 - *relativne brzine vrtnje*,
 - *stupanj korisnosti*.
- *Prijenosni omjer* prijenosnika se definira kao omjer brzine ulaznog (pogonskog) i izlaznog (radnog) člana

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_p}{\omega_r} \quad (1)$$

- **Pozitivan predznak** u izrazu (1). (tj. $i > 0$) za prijenosni omjer znači da se ulazno i izlazno vratilo prijenosnika vrte u istom smjeru, a negativan predznak ($i < 0$) znači da je smjer vrtnje ulaznog i izlaznog vratila različit.

OSNOVNI POJMOVI PRIJENOSA SNAGE I GIBANJA

- Npr, za **zupčasti prijenosnik** su to **gubici ozubljenja** P_z , za **remenice** su to **gubici proklizavanja**. Tim gubicima se pridodaju i gubici zbog **tekućinskog trenja u uljima** (**bućkanje**, P_u), **trenja u brtvama** P_b i **trenja u ležajevima** P_L
- Ukoliko se radi o **višestupnjevnom prijenosniku**, **ukupan stupanj korisnog djelovanja** se dobiva **množenjem stupnjeva korisnosti pojedinačnih prijenosnih parova**, **faktora korisnosti koji uključuju gubitke u ležajevima cijelog prijenosnika te gubitaka brtvljenja i ostalih gubitaka**



$$\eta = \eta_{12} \eta_{34} \dots \eta_{xy} \eta_b \eta_L \quad (2)$$

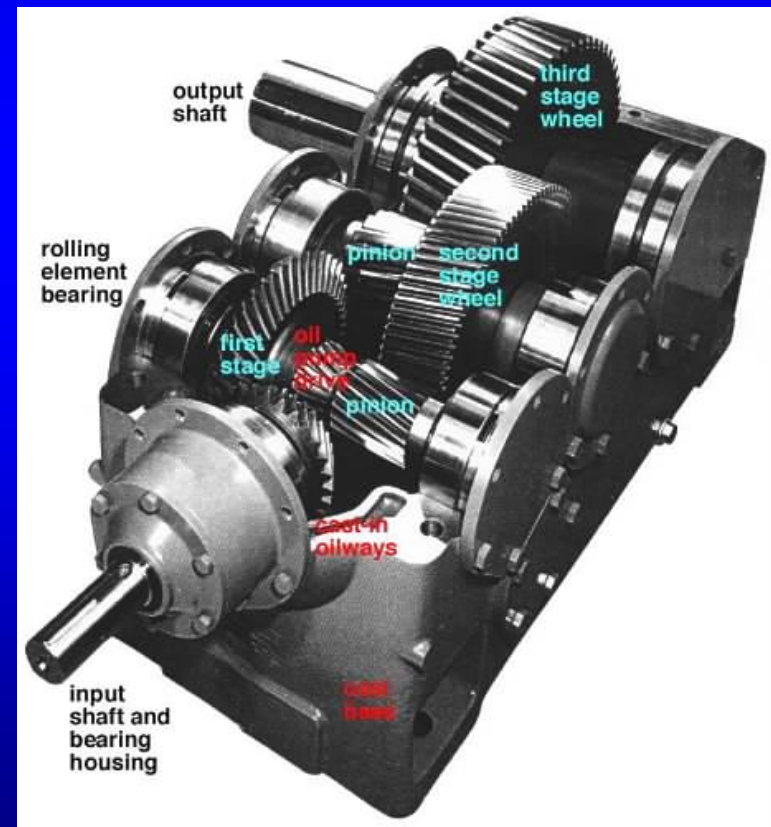
η_{xy} je stupanj korisnosti pojedinog prijenosničkog para, η_L mjera gubitaka u ležajevima a η_b mjera gubitaka koji nastaju u brtvama uključujući tu i ostale gubitke

OSNOVNI POJMOVI PRIJENOSA SNAGE I GIBANJA

- Općenito za višestupanjski prijenos vrijedi da je ukupni prijenosni omjer i ukupni stupanj iskoristivosti

$$i_{uk} = \prod_{i=1}^n i_i \qquad \eta_{uk} = \prod_{i=1}^n \eta_i$$

- Gdje je n broj stupnjeva prijenosa
- Na slici je prikazan reduktor s 3 stupnja prijenosa



OSNOVNI POJMOVI PRIJENOSA SNAGE I GIBANJA (poznati pojmovi od prije)

- *Stupanj pretvorbe momenta* je omjer momenata izlazne i ulazne strane prijenosnika. Iz bilance snage prijenosnika $P_2 = \eta P_1$, za jednostupanjski prijenos se dobije

$$M_2 n_2 = -\eta M_1 n_1$$

$$\mu = \frac{M_2}{M_1} = -i\eta \quad (3)$$

- *Snaga* koja se prenosi prijenosnikom računa se kao umnožak okretnog momenta i kutne brzine. Općenito vrijedi

$$P = M\omega = \frac{n\pi}{30} M \quad (4)$$

PRIJENOSNICI SNAGE I GIBANJA

KLASIFIKACIJA PRIJENOSNIKA (1)

1. Podjela prema načinu prijenosa okretnog momenta

- *Mehanički prijenosnici*, kod kojih se moment prenosi mehaničkim putem. Uglavnom je to trenjem i oblikom s neposrednim ili posrednim kontaktom pogonskog i radnog dijela prijenosnika
- *Hidraulički i pneumatski prijenosnici*, kod kojih se okretni moment prenosi uz pomoć stlačenih tekućina ili plinova
- *Električni prijenosnici*, gdje je pogonski i mehanički dio vezan spojkom ili je vratilo pogonskog člana ujedno i vratilo radnog mehanizma (engl. *direct drive*). Promjenljivi moment se prenosi na radni mehanizam električkim putem odgovarajućim sustavom pojačalo +aktuator

2. S obzirom na promjenljivost prijenosnog omjera

- Prijenosnici s *konstantnim prijenosnim omjerom* koji su projektirani za samo jedan definirani prijenosni omjer.
- Prijenosnici s *promjenljivim prijenosnim omjerom* kod kojih se promjena prijenosnog omjera postiže ili u stupnjevima ili kontinuirano

PRIJENOSNICI SNAGE I GIBANJA

KLASIFIKACIJA PRIJENOSNIKA (2)

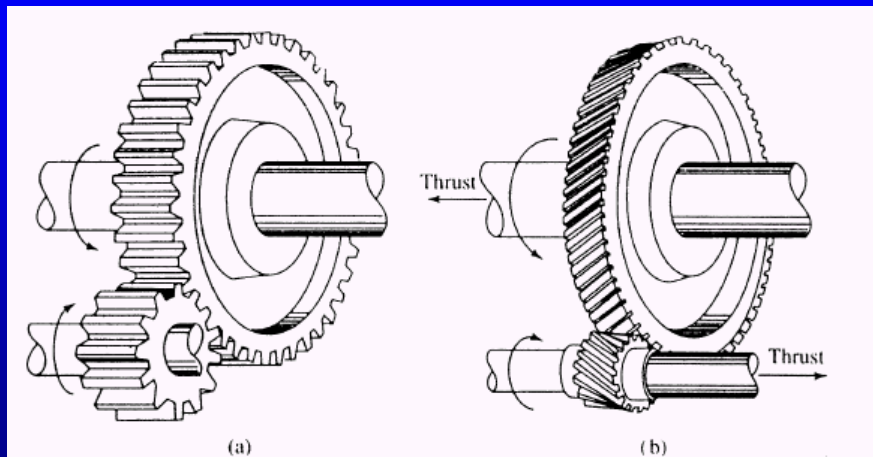
3. S obzirom na to da li dominira prijenos snage ili prijenos gibanja
 - Prijenosnici *snage*
 - Prijenosnici *gibanja*
4. S obzirom na izvedbu
 - Prijenosnici sa *standardnom* (klasičnom, konvencionalnom) izvedbom
 - *planetni* prijenosnici
 - *harmonijski* prijenosnici

NAŠ ZADATAK NA PREDAVANJIMA:

- Prema 1. → *Mehanički prijenosnici*
- Prema 2. → *s konstantnim prijenosnim omjerom*
- Prema 3. → *i snage i gibanja* (većim dijelom)
- Prema 4. → sve tri grupe ali poseban naglasak na *planetne i harmonijske*

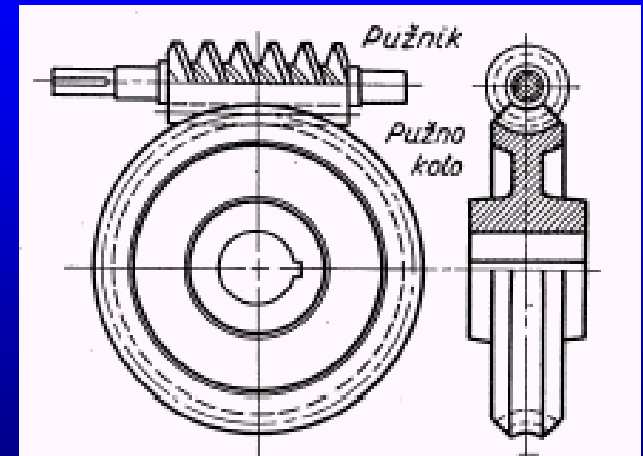
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja (1)

- Prijenos energije se obavlja bez klizanja i odlikuje se velikom pogonskom sigurnošću, trajnošću, velikom mogućnošću preopterećenja i malim gubicima
- Buka je česta a **zračnost među zubima** predstavlja problem u preciznim mehatroničkim sustavima, posebno kod niskih radnih brzina
- Zbog značajnijih sila ubrzavanja i kočenja, može doći do **neželjenih udaraca između zuba spregnutih zupčanika**.
- S obzirom na **izvedbu i međusobni položaj osovina**, zupčanici se dijele na **čelne**, **stožne** (konične) i **pužne**



čelni

konični (stožni)



pužni

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja (2)

- Kod čelnih zupčanika s jednim parom zupčanika (jednostupanjski pogon), postižu se prijenosni odnosi $i=8-20$. S dva para (dvostupanjski pogon), postižu se prijenosni odnosi $i=45-60$ i s tri para $i=200-300$.
- Kod stožnih zupčanika osovine se sijeku pod nekim kutom δ (najčešće 90°). S ovakvom izvedbom zupčanika postižu se prijenosni odnosi do $i=6$ (manje nego kod čelnih)
- Kod pužnih zupčanika osovine se križaju pod pravim kutom. Odlikuju se velikim prijenosnim odnosima ($i=1-100$). Stupanj iskorištenja je funkcija prijenosnog odnosa i iznosi od $45-97\%$, s tim da se **manje iskorištenje postiže kod većih prijenosnih omjera**.

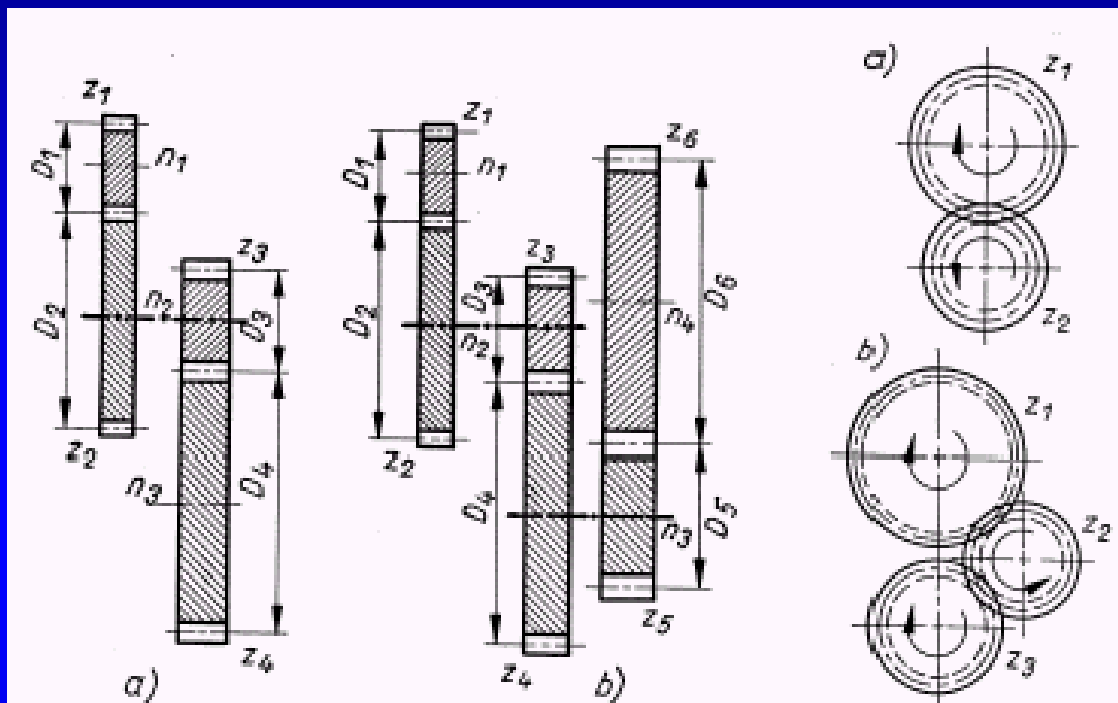
- Opći zakon ozubljenja je

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = konst.$$

- a prijenosni omjer

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

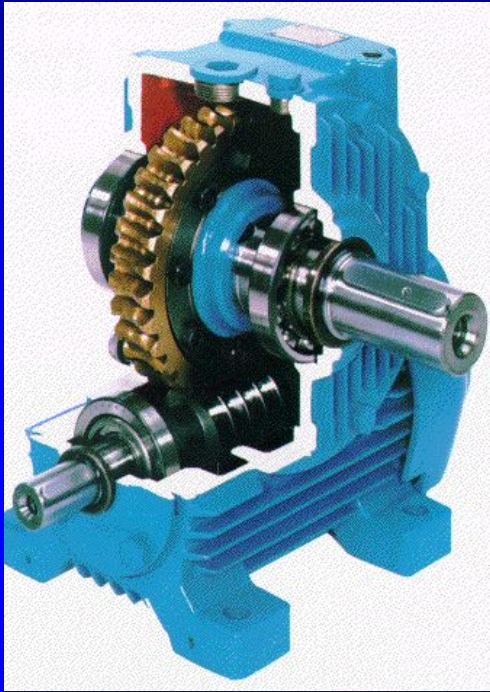
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja (3)



Prijenos snage zupčastim prijenosom s dva a) i tri zupčanika b).

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = \frac{n_1}{n_4} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5}$$

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Puž (pužnik) i pužno kolo, engl. *worm and gear* (1)



PUŽ (PUŽNIK)

PUŽNO KOLO

Prijenosni omjer se računa jednako kao i za druge zupčaničke prijenose

Prijenos momenta kada su vratila okomita i mimoilazna

Veliki prijenosni odnosi $i = 5...70$

Stupanj iskoristivosti $\eta = 0,3...0,96$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$z_1 \mapsto$ broj zuba (navoja) puža

$z_2 \mapsto$ broj zuba pužnog kola

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Puž i pužno kolo – pužnik, engl. *worm and gear*, (2)

- Kod jednovojnog pužnika se za svaki puni okret pužnika pužno kolo zakrene za jedan zubni razmak, kod dvovojnog za dva, trovojnog za tri itd.
 - Primjer dvostupanjskog prijenosnika snage i gibanja koji se sastoji od jednog čeonog zupčastog para i puža s pužnikom kao drugog para
- Što se dobije s ovakvom kombinacijom ?



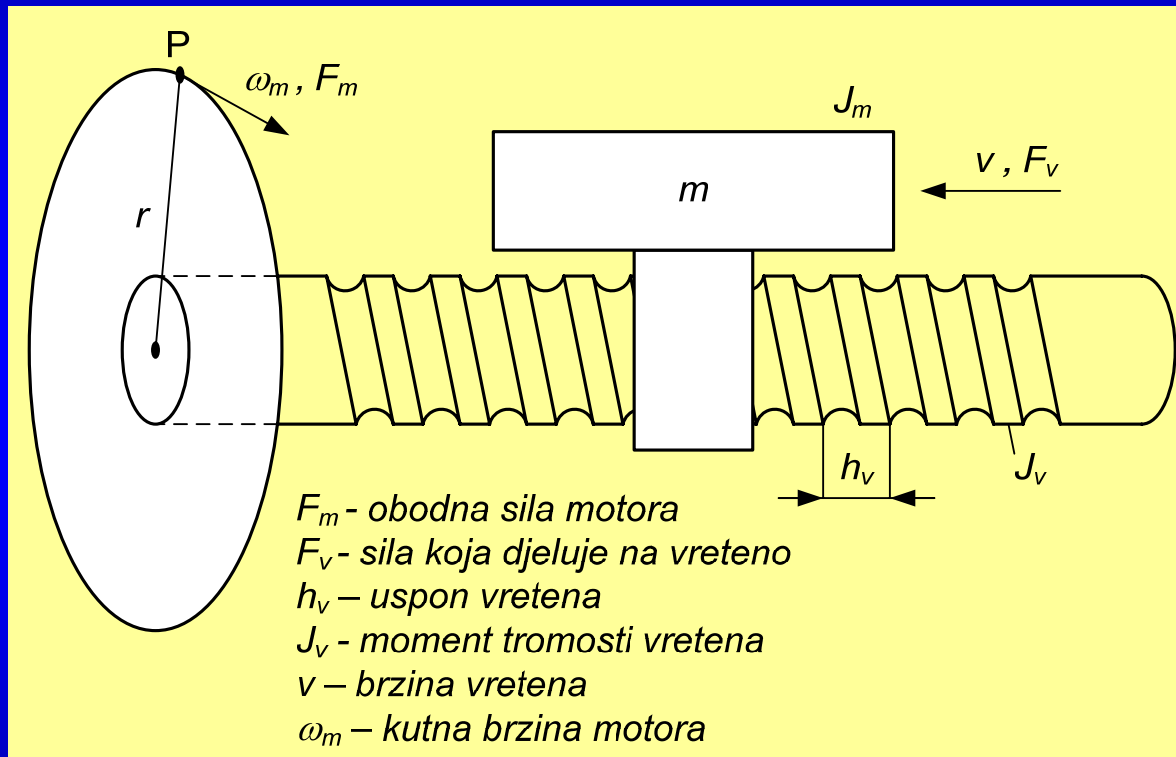
Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* - Posmični pogon (prigon) s navojnim vretenom (1). engl. *Lead and Ball screw mechanism*

Svojstva:

- Širok raspon brzina vrtnje
- Velika preopteretivost
- Minimalna vremena zaleta
- Osiguranje velikog momenta kod brzine $n=0$

Primjena:

- Alatni strojevi (za pomak obradka ili alata)



Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* - Posmični pogon (prigon) s navojnim vretenom (2)

Budući da se za 1 okretaj vretena masa m pomakne za uspon vretena h_v , odnos izvršenog rada motora (zakret) i navojnog vretena (translacijski pomak) uz faktor korisnosti η je

$$F_m \cdot r \cdot 2\pi \text{ rad} \cdot \eta = F_v \cdot h_v \quad \text{gdje je} \quad M_m = F_m \cdot r \quad \text{moment motora.}$$

$$M_m = \frac{F_v \cdot h_v}{2\pi\eta}$$

Matematički model sustava

Primjer: Uz korak vretena od 0,01m i faktor korisnosti 0,8, za potrebnu silu F_v od 500Nm potreban je zakretni moment motora od 1Nm !

Zadatak: Uz poznatu dužinu vretena l_v , za određivanje dinamičkog modela pogona odredite **ukupan moment tromosti sustava** (kojeg VIDI motor!?)

Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* - Posmični pogon (prigon) s navojnim vretenom (3)



- Za velika opterećenja koriste se kuglice; sila se prenosi savladavajući *trenje kotrljanja (ball-screw)* a ne *trenje klizanja (lead-screw)*.
- Posljedica kugličnih ležaja - pogon je bučniji, ali se može znatno teretiti
- Parametar koji definira vreteno: Maksimalni pomak vijka (vretena) ili glave za jedan okretaj, h_v
- Zračnost – aksijalni slobodni hod između glave (engl. *nut*) i vijka. Kreće se do $25\mu\text{m}$
- Za rješavanje problema zračnosti koristi se predopterećenje, 10 do 30%

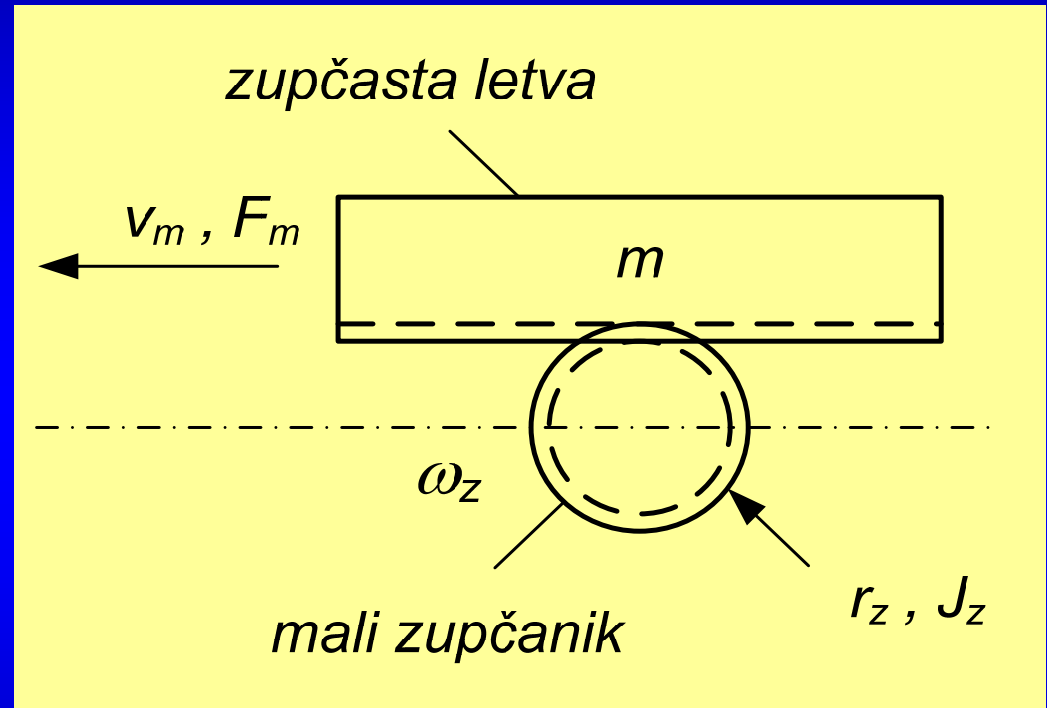
Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* – Zupčanik sa zupčastom letvom (1), engl. *rack and pinion*

Zahtjevi:

- Širok raspon brzina vrtnje
- Velika preopteretivost
- Minimalna vremena zaleta
- Osiguranje velikog momenta kod brzine $n=0$

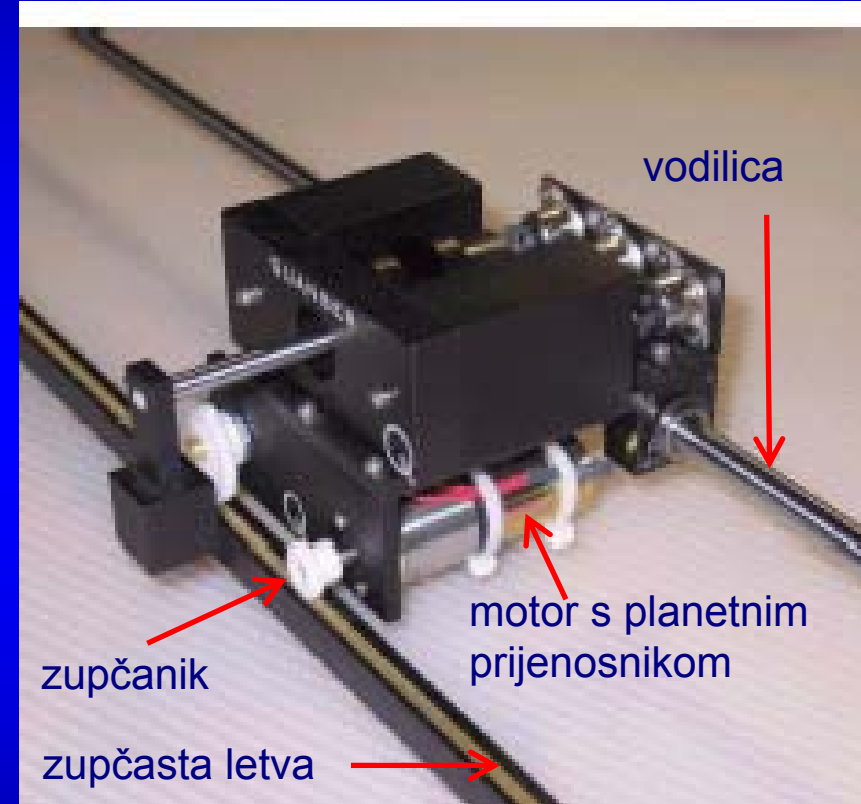
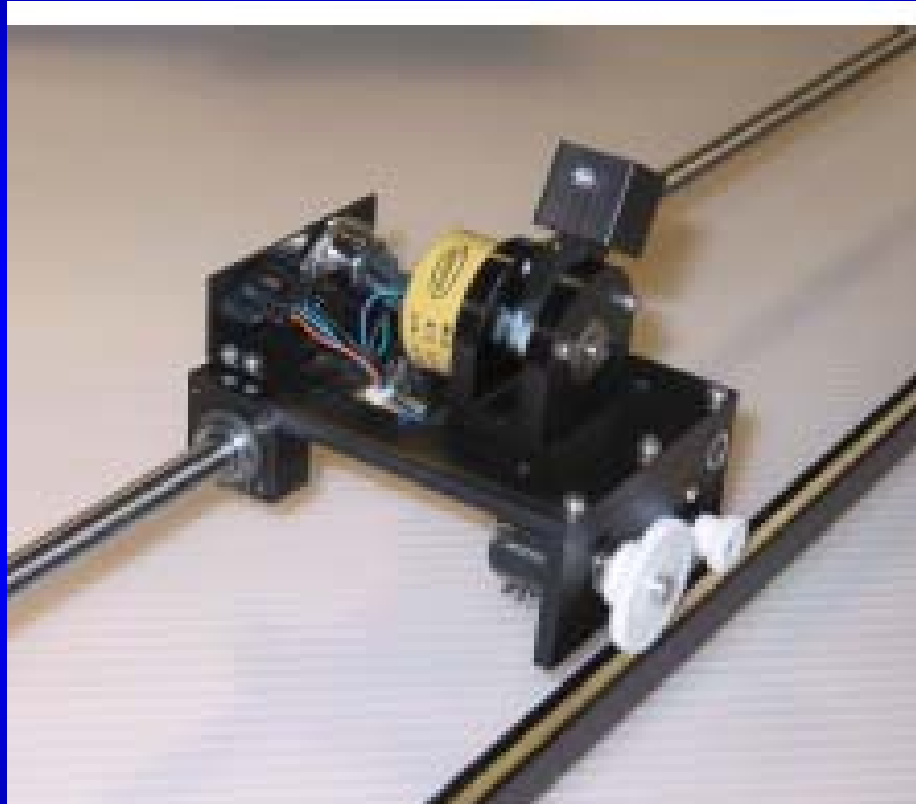
Primjena:

- Alatni strojevi (za pomak obradka ili alata)



NAPOMENA: Za razliku od posmičnog pogona s navojnim vretenom, broj zuba sustava zupčanika i zupčaste letve NE UTJEČE na parametre gibanja. Sa stanovišta modeliranja, sustav zupčanika sa zupčastom letvom se može promatrati tako da zupčanik ima kontakt sa zupčastom letvom SAMO U JEDNOJ točki, pri čemu ne postoji proklizavanje!!

Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* – Zupčanik sa zupčastom letvom (2),
engl. *rack and pinion*



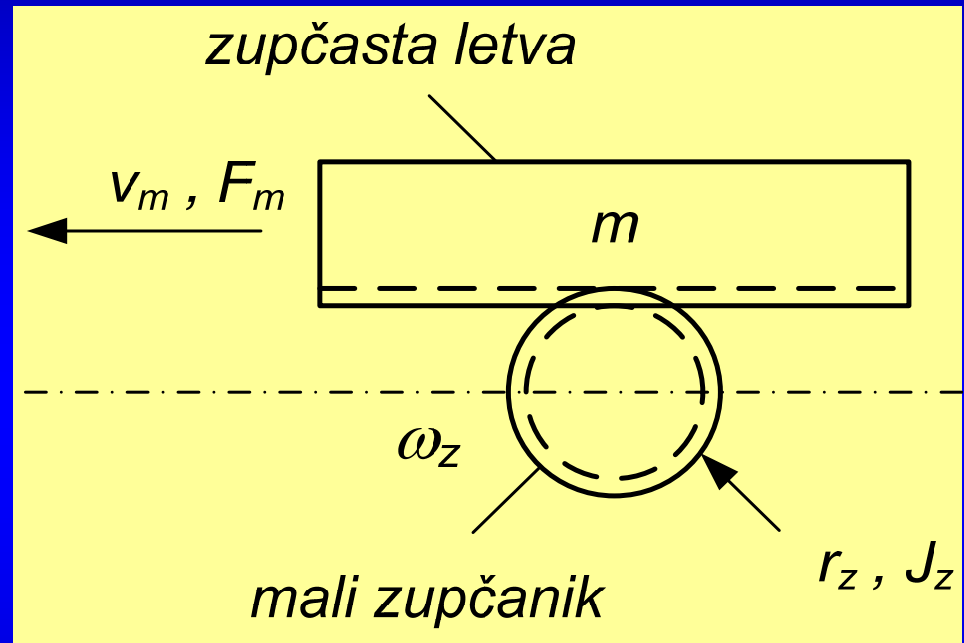
Primjer: Na slikama je prikazan dio elektromehaničkog sustava **Kolica s** **Ovješnim Njihalom, KONJ** (bez njihala), koji se koristi u **LAB**oratoriju **ME**hatronike (**MELAB**) na FER-u u Zagrebu.

Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* – Zupčanik sa zupčastom letvom (3),
engl. *rack and pinion*

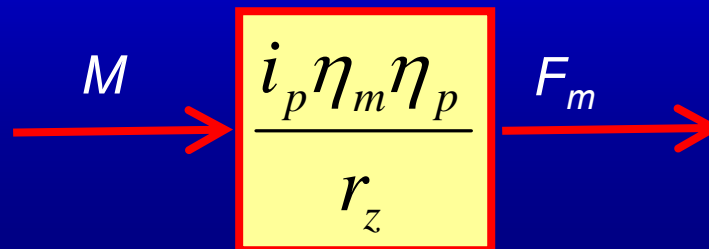
Neka je zupčanik pogonjen motorom korisnosti η_m preko planetnog prijenosnika prijenosnog odnosa i_p korisnosti η_p . Moment M koji motor mora osigurati dobije se iz izraza

$$i_p \eta_m \eta_p \omega_z M = F_m v_m$$

gdje je $v_m = \omega_z \cdot r_z$.

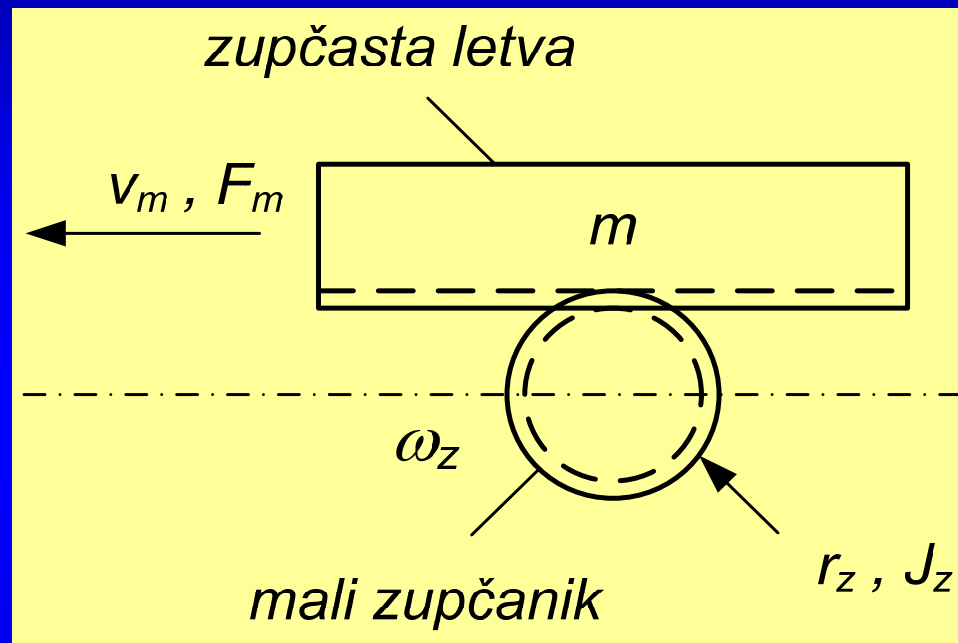


Matematički model sustava na slici pogonjen motorom je



Zupčasti prijenosnici snage s *rotacijsko-translacijskom pretvorbom gibanja* – Zupčanik sa zupčastom letvom (4),
engl. *rack and pinion*

ZADATAK: Pod pretpostavkom da je moment tromosti motora J a planetnog prijenosnika zanemariv, uz podatke koji su dani na prethodnom slideu, izračunajte ukupan **moment tromosti** sustava zupčanika sa zupčastom letvom (slika dolje) **reduciran na stranu motora** koji se vrti brzinom ω_z .



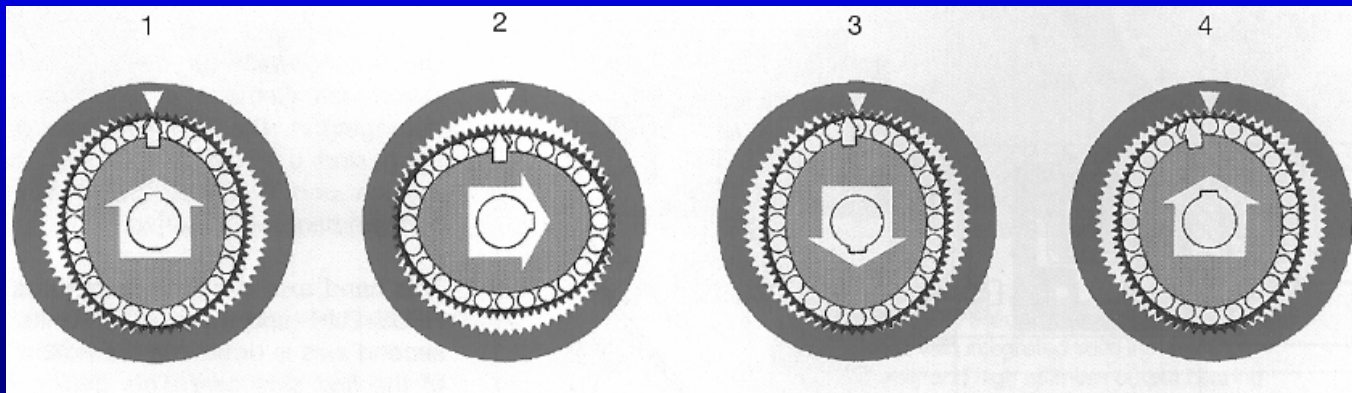
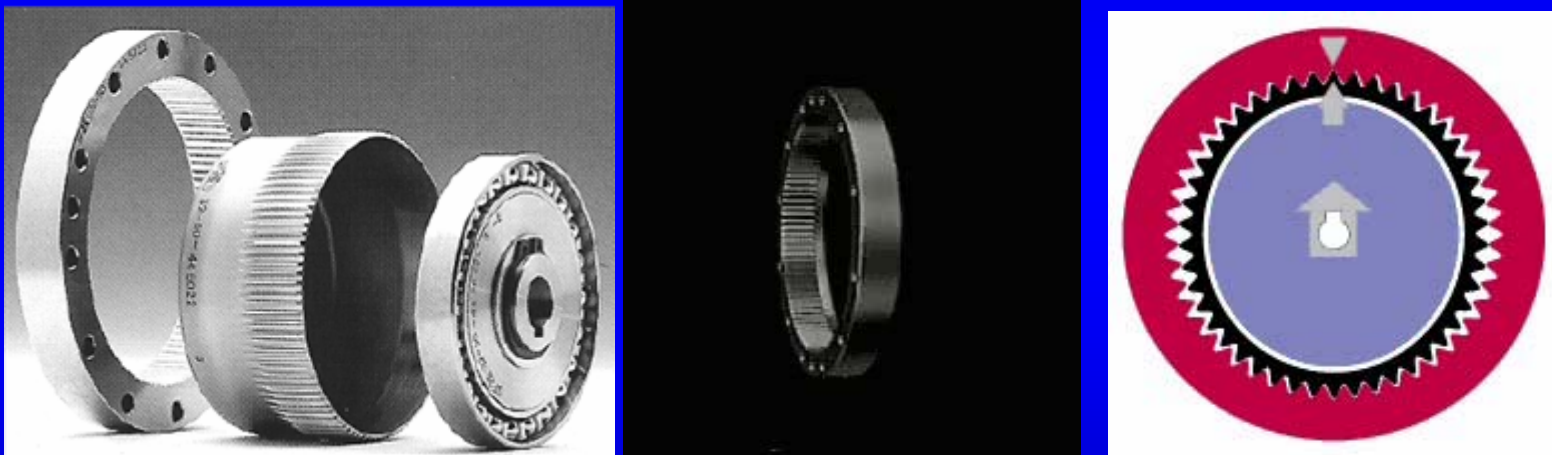
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (1)

- Potreban mehanički zakret zgloba robota u odnosu na brzinu ugrađenog motora je neusporedivo malen (**100-300 puta**) pa je upotreba klasičnih zupčastih prijenosnika, zbog ograničenosti prijenosnog omjera, praktički nemoguća.
- Morao bi se ugraditi **višestupanjski prijenosnik**, što bi znatno povećalo težinu, gubitke, potreban prostor za ugradnju, smanjilo točnost pozicioniranja (**višestruka zračnost**) a isto tako rezultiralo visokim zahtjevima na nadređeni upravljačko-regulacijski sustav
- Ovaj problem se uspješno rješava korištenjem **harmonijskog prijenosa** (engl. *harmonic drive*) razvijenog i patentiranog šezdesetih godina prošloga stoljeća.
- **Prijenosni omjeri** se kreću **od 50 do 350**, faktor korisnosti je oko **0.9**, a radni momenti (engl. *torque capacity*) u rasponu od najmanjih (1-2 Nm) do najvećih **10.000 Nm**

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (2)

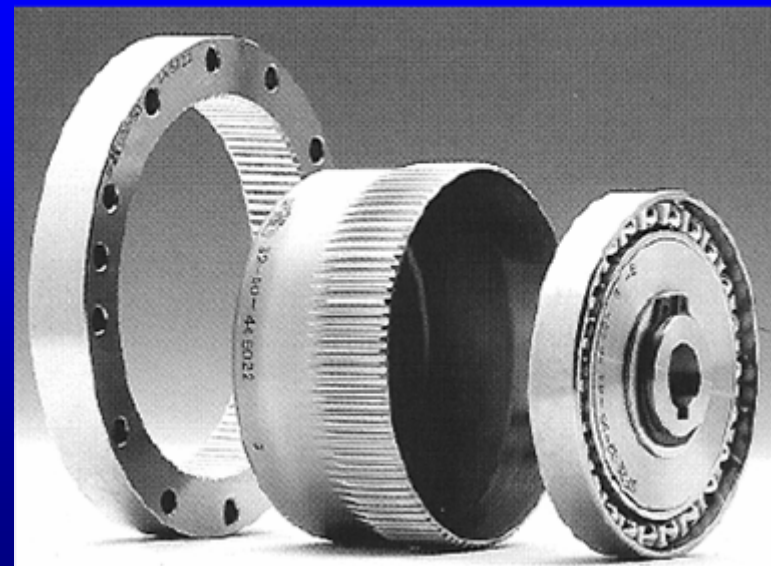
Sastoji se od :

- a) kružnog ozubljenog prstena, (zupčasto vodilo, engl. *circular spline*),
- b) elastičnog ozubljenog prstena (engl. *flexspline*)
- c) deformatora, (valnog generatora, engl. *wave generator*)



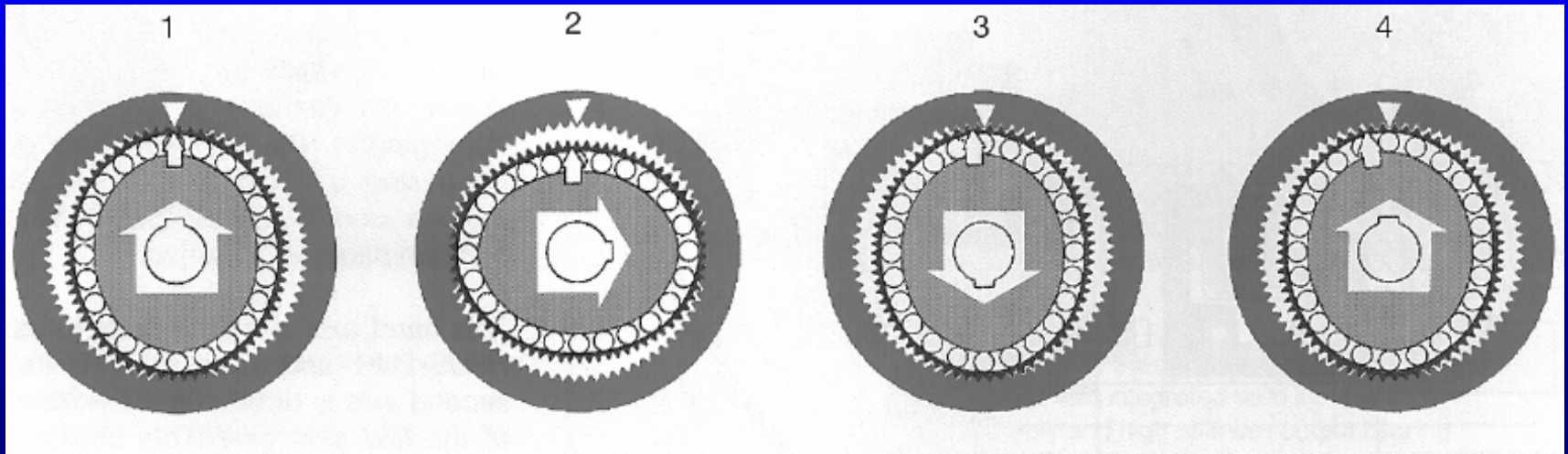
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (3)

- Deformator je najčešće sklop kugličnog ili valjkastog ležaja s **krutim eliptičnim unutrašnjim** prstenom i **tankim vanjskim elastičnim** prstenom
- Na deformator c) se navlači elastični ozubljeni prsten, koji je oblika cilindrične šalice (kape, zvona) s vanjskim ozubljenjem
- Unutrašnje ozubljenje krutog kružnog prstena a), izvedeno je s malo većim diobenim promjerom nego što je manja os elipse deformiranog elastičnog ozubljenog prstena



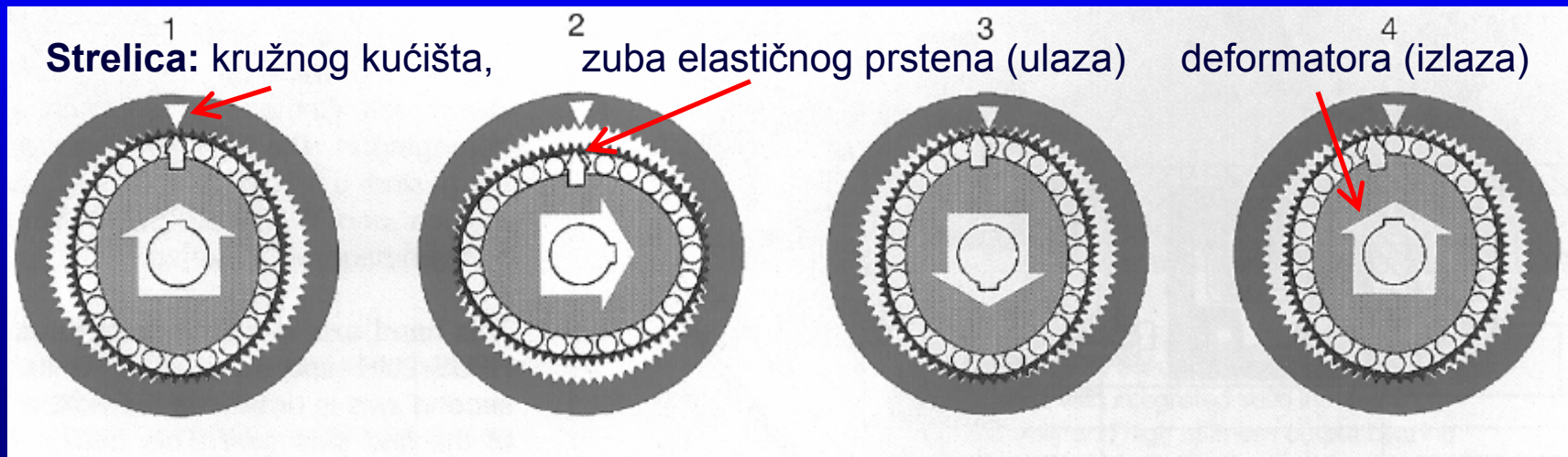
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (4)

- Preko ležajnih kuglica deformator prisiljava elastični ozubljeni prsten da prihvati eliptični oblik deformatora i istovremeno da bude u stalnom ozubljenju s kružnim ozubljenim prstenom
- Na taj način se moment (snaga) prenosi naprezanjem koje se prenosi preko duže osi deformatora na elastični ozubljeni prsten a s njega na kružni prsten.
- Ako je deformator spojen na pogonsku stranu, onda se njegovim gibanjem naprezanje u obliku *vala* širi po obodu elastičnog prstena s maksimumom naprezanja u smjeru velike osi deformatora
- Otuda dolazi i prvotni engleski naziv *Strain Wave Gearing* (ozubljenje valnim naprezanjem)



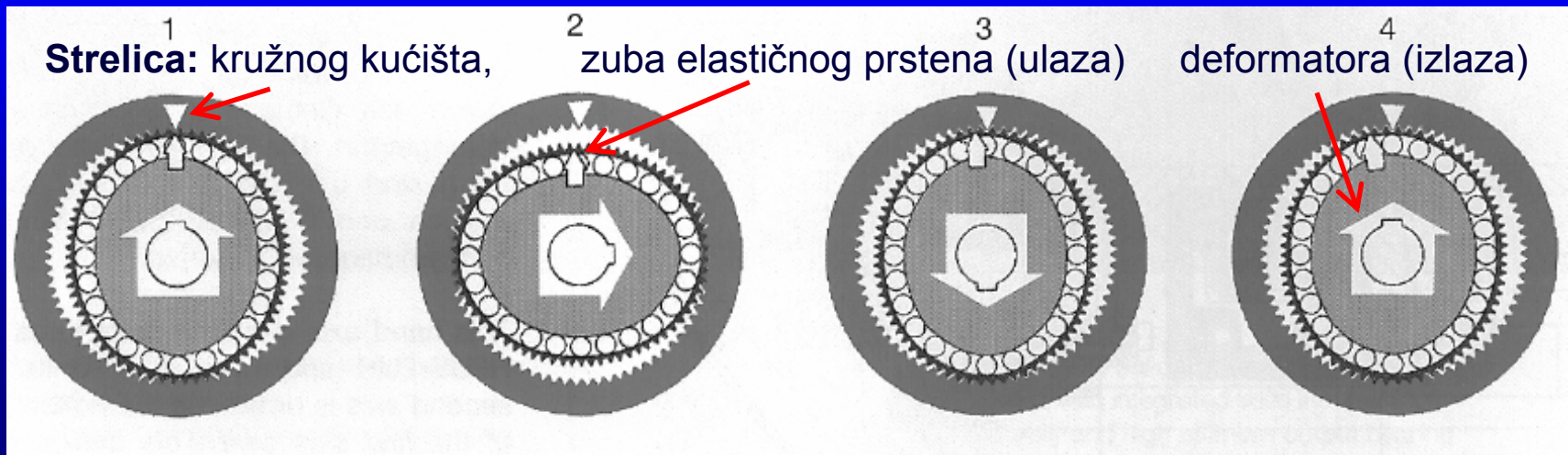
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (5)

- Najčešća izvedba (konfiguracija) harmonijskog prijenosnika je ona u kojoj je kružni prsten izveden kao reakcijski član (učvršćen), deformator spojen na primarno (ulazno) a elastični ozubljeni prsten na sekundarno (izlazno) vratilo.
- NAČIN RADA**: U početnom položaju 1, strelica kružnog i elastičnog prstena (izlaza) je poravnata a strelica deformatora (ulaza, pogonska strana) pokazuje položaj 12.00 sati u odnosu na kružni ozubljeni prsten.
- Ozubljenje elastičnog i kružnog prstena je samo u smjeru velike osi deformatora, (vertikalni smjer).



Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (6)

- Pomakom deformatora za 90° u smjeru kazaljke na satu (položaj 2), strelica elastičnog prstena i dalje pokazuje njegov isti zub koji sad nije u ozubljenju i koji "putuje" u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu (smjera vrtnje deformatora).
- **VAŽNO !!!** Bez slobodnog gibanja ovog zuba (nije u ozubljenju) nema ni rotacije elastičnog prstena a samim tim ni rotacije izlazne osovine.
- U položaju 3, deformator napravi polovinu kruga a elastični prsten se pomakne za jedan zub u suprotnom smjeru
- Nakon jednog punog okreta deformatora elastični prsten se pomakne za dva zuba u suprotnu stranu, što pokazuje i unutrašnja strelica za položaj 4



Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (7)

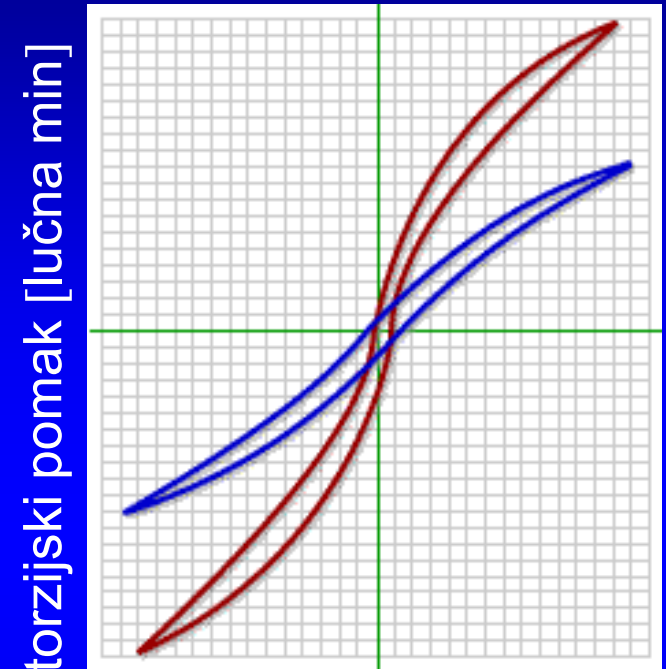
i = prijenosni omjer

EO = elastično ozubljeni prsten

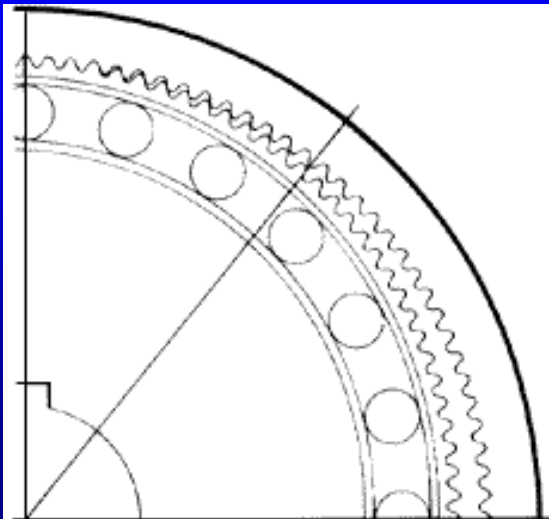
KO = kružni ozubljeni prsten

Primjer: $z_{EO} = 200$ zuba; $z_{KO} = 202$ zuba

$$i = R = \frac{z_{EO}}{z_{KO} - z_{EO}} = \frac{200}{202 - 200} = 100 : 1$$

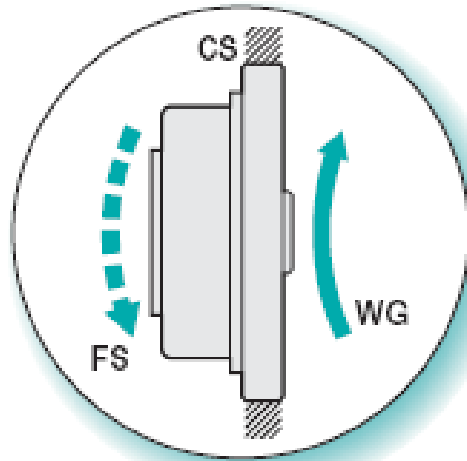


moment opterećenja [Nm]



- Detalj u kojem se vidi elastično i kružno ozubljeni prsten, te deformator s eliptičnim ležajem. Na dijelu velike osi elipse, vidi se **veliki broj zuba u ozubljenju (do 30% zuba)!!!**
- Za **čeonu zupčaniku** u ozubljenju je **1-2 zuba**, za **planetni** cca **6 zuba**

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici - izvedbe (8)

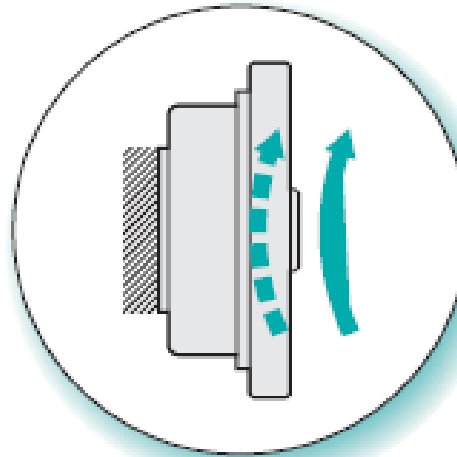


1. Reduction Gearing

CS	Fixed
WG	Input
FS	Output

$$\text{Ratio} = -\frac{R}{1} \quad [\text{Equation 1}]$$

Input and output in opposite direction.

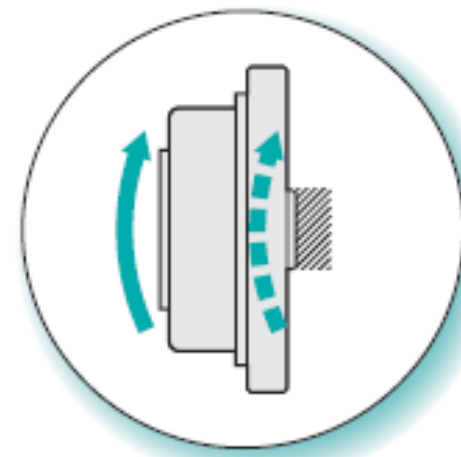


2. Reduction Gearing

FS	Fixed
WG	Input
CS	Output

$$\text{Ratio} = \frac{R+1}{1} \quad [\text{Equation 2}]$$

Input and output in same direction.



3. Reduction Gearing

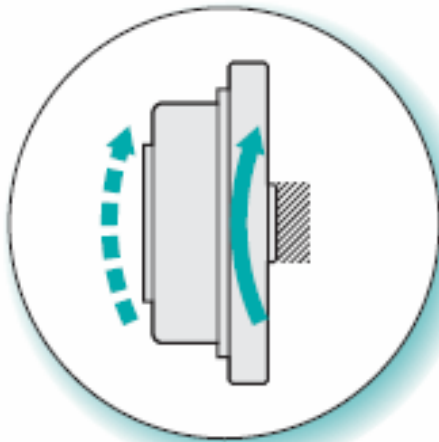
WG	Fixed
FS	Input
CS	Output

$$\text{Ratio} = \frac{R+1}{R} \quad [\text{Equation 3}]$$

Input and output in same direction.

$$i = R = \frac{z_{EO}}{z_{KO} - z_{EO}} = \frac{FS}{CS - FS}$$

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici - izvedbe (9)

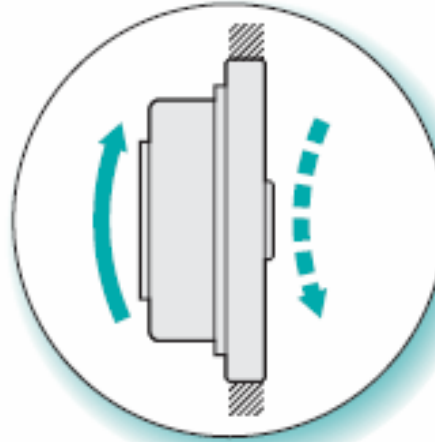


4. Speed Increaser Gearing

WG	Fixed
CS	Input
FS	Output

$$\text{Ratio} = \frac{R}{R + 1} \quad [\text{Equation 4}]$$

Input and output in same direction.

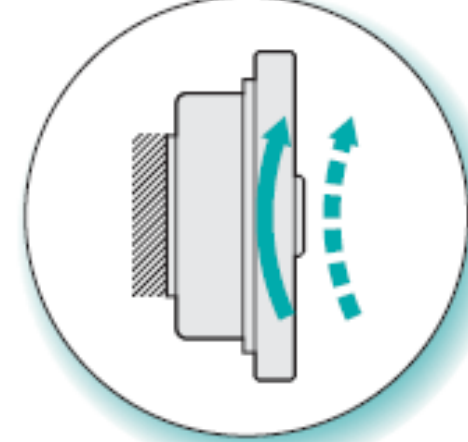


5. Speed Increaser Gearing

CS	Fixed
FS	Input
WG	Output

$$\text{Ratio} = -\frac{1}{R} \quad [\text{Equation 5}]$$

Input and output in opposite direction.



6. Speed Increaser Gearing

FS	Fixed
CS	Input
WG	Output

$$\text{Ratio} = \frac{1}{R + 1} \quad [\text{Equation 6}]$$

Input and output in same direction.

$$i = R = \frac{z_{EO}}{z_{KO} - z_{EO}} = \frac{FS}{CS - FS}$$

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Harmonijski prijenosnici (10)

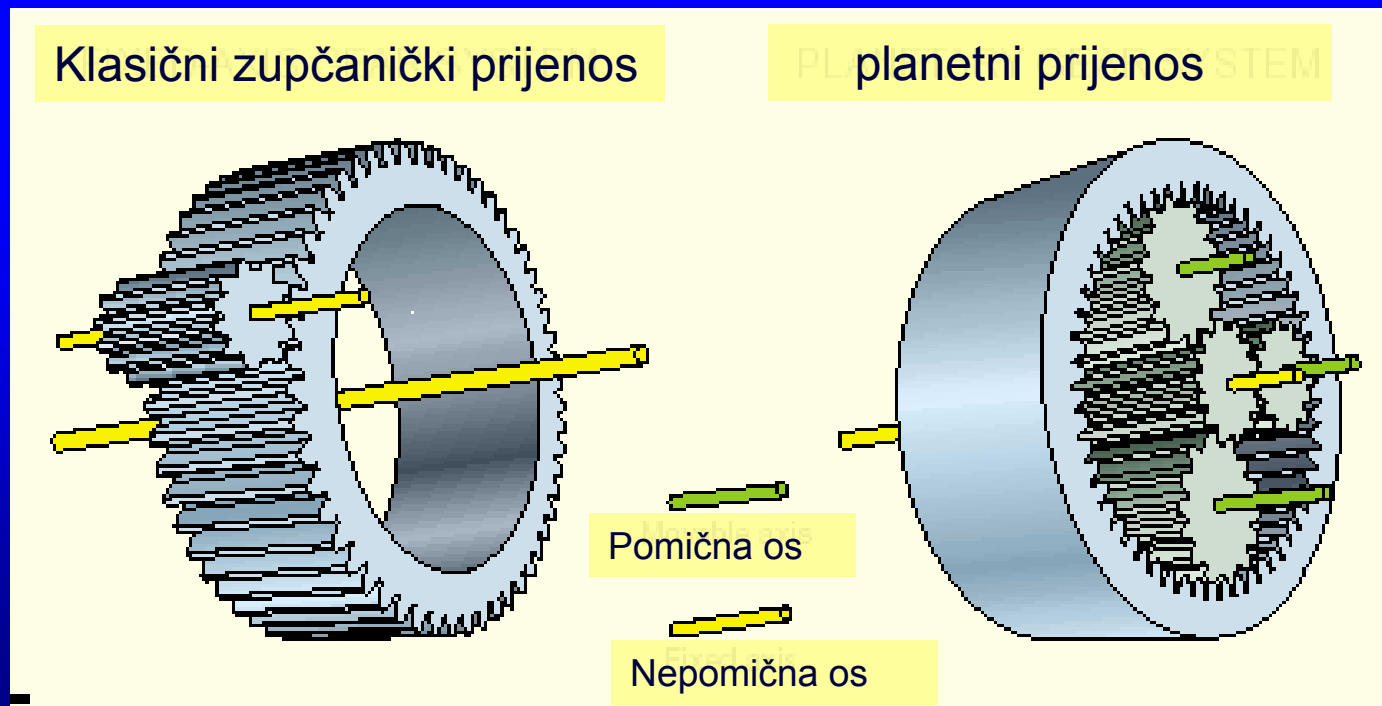
ZAKLJUČAK

- Svoju reputaciju prijenosnika posebno dobrih (gotovo savršenih!) karakteristika harmonijski prijenosnik je stekao zahvaljujući velikoj točnosti pozicioniranja. Ona iznosi i manje od jedne lučne minute (30 lučnih sekunda = 0,008 stupnjeva)
- Pored visokog stupnja točnosti pozicioniranja, zračnost (engl. *backlash*, *freeplay*) između elastičnog i kružnog prstena je NULA !!! To znači da je ponovljivost i rezolucija pri pozicioniranju praktički SAVRŠENA!
- Ovakve karakteristike visoke točnosti pozicioniranja s gotovo savršenom eliminacijom zračnosti, harmonijski prijenosnik svrstava kao idealnu komponentu u servo sustavima (sustavi velike dinamike s posebno izraženim zahtjevima visoke točnosti pozicioniranja)

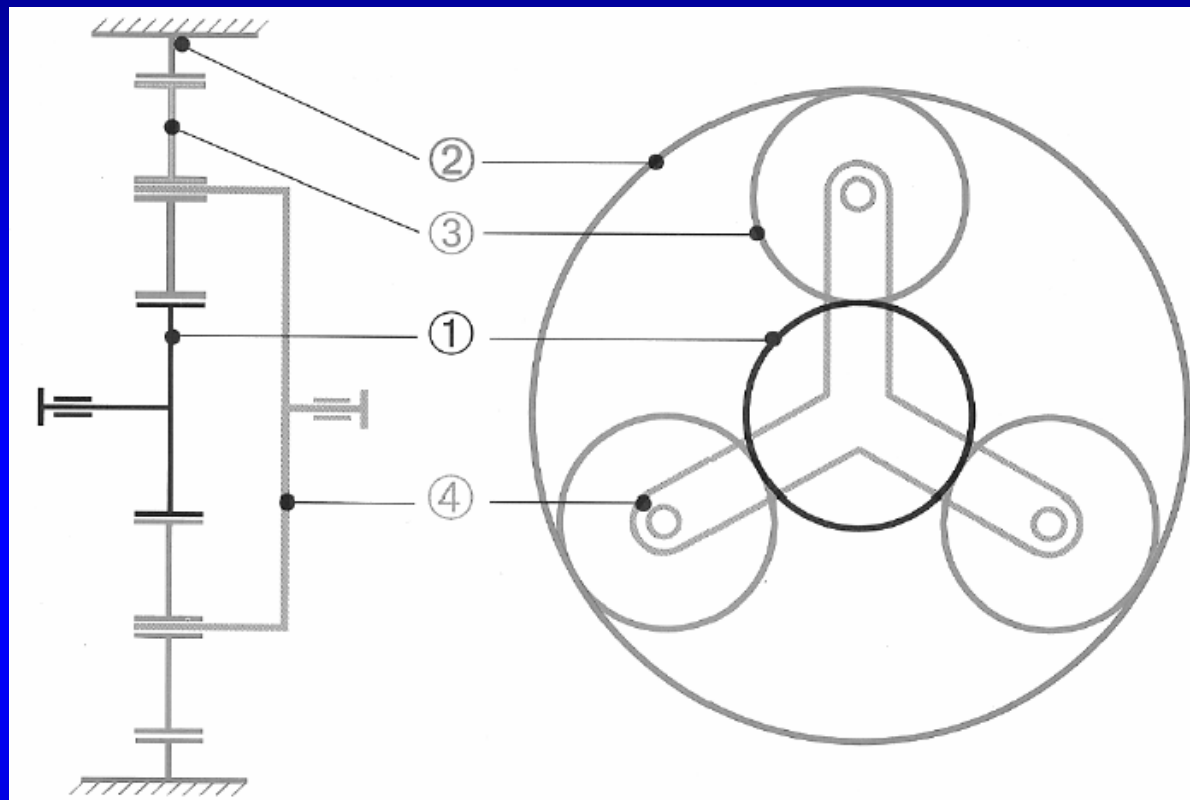
PITANJE: Zbog čega je harmonijski prijenosnik idealan za posebno dinamički zahtjevan elektromehanički sustav upravljanja (naglašena dinamika pogona)

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (1)

- Nalaze primjenu tamo gdje se traži **prijenos što većih snaga i brzina** uz što manji volumen i težinu prijenosnika.
- To se postiže **grananjem snage na više planetnih zahvata zupčanika**, a kao posljedica ovakve konstrukcije (izvedbe) je **smanjenje dinamičke sile i buke (ravnomjerno raspodijeljene radijalne sile)**



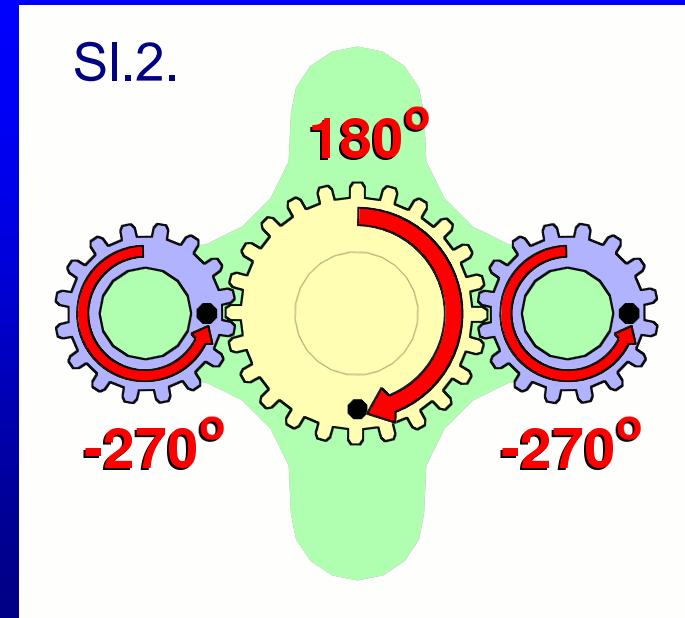
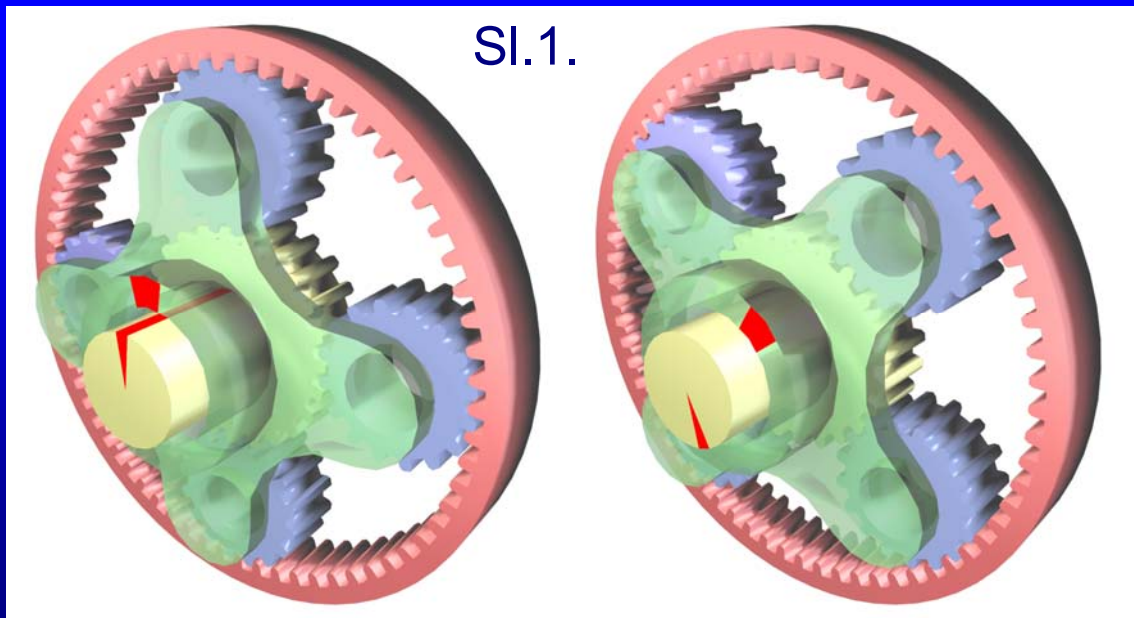
Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (2)



- 1) Sunčani zupčanik (engl. *sun gear*)
- 2) Kružni zupčanik (engl. *ring gear, annulus*)
- 3) Planetni zupčanik (engl. *planet gear*)
- 4) Nosač, pokretna ruka (engl. *carrier, moving arm*)

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (3)

- **Princip rada multiplikatora** (sl.1.)– **povećanje brzine**: Nosač (**zeleno**) planetnih zupčanika (**plavo**), predstavlja ULAZNO vratilo, dok je sunčani zupčanik (**bijelo**) IZLAZNO vratilo. Vanjski zupčanik (**crveno?**) s unutarnjim ozubljenjem je stacionaran (fiksiran), pa prijenosni omjer ovisi o broju zubaca sunčanog i planetnog zupčanika. Pomak ulaznog vratila je za 45° !
- Sl.2. Omjer zupčanika je $24/16$ ($3/2$). Za **pomak ulaznog sunčanog zupčanika 180°** , dobije se **pomak planetnog izlaznog zupčanika za -270°** . Nosač je fiksiran, pa ako postoji vanjski ozubljeni prsten, on **MORA** rotirati!



Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (4)

- U tom slučaju su (sa sl.2) brzine vrtnje i pomaci sunčanog, planetnog i kružnog zupčanika određene brojem zuba z_s , z_p i z_k respektivno.
- U tom slučaju će vrijediti:
 - jedan okret sunčanog zupčanika rezultira sa $-z_s / z_p$ okreta planetnog z.
 - jedan okret planetnog zupčanika rezultira sa z_p / z_k okreta kružnog z.

Zaključak: Svaki jedan okret sunčanog zupčanika rezultira sa $-z_s / z_k$ okreta kružnog zupčanika

- Najniži prijenosni omjer (najveća redukcija) se dobije kada je sunčani zupčanik na ulaznom vratilu, kružni zupčanik fiksiran a izlazno vratilo spojeno na nosač. Tada vrijedi

$$i = \frac{1}{1 + z_k / z_s}$$

- Uz pretpostavku da je $z_k \gg z_s$, za brzi proračun se dobije $i = z_s / z_k$. Ovo je tzv “traktorski” prijenos jer se na izlaznoj osovini dobije veliki MOMENT!!

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (5)

Planetni prijenosnik u radu – pokreni [animaciju!](#)



Kružni zupčanik je učvršćen a ulazna i izlazna osovina mogu biti nosač ili sunčani zupčanik. Nosač NIJE učvršćen.

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (6)

- Nosač (pokretna ruka) je najčešće pokretna, ali može biti i učvršćena.
- Kružni zupčanik može biti ulazno ali i izlazno vratilo; ista logika vrijedi i za pokretni nosač
- Ako je nosač učvršćen vrijedi

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{n_s}{n_p} = -\frac{z_p}{z_s}; \quad \frac{n_2}{n_3} = \frac{n_p}{n_k} = \frac{z_k}{z_p}; \quad \frac{n_3}{n_1} = \frac{n_k}{n_s} = -\frac{z_s}{z_k}$$

gdje su n_s, z_s ; n_p, z_p i n_k, z_k brzine vrtnje i broj zuba **sunčanog**, **planetnog** i **kružnog nazubljenog prstena** respektivno. Smjerovi vrtnje su također definirani gornjim izrazom. Provjerite!!!

- Izračun prijenosnog omjera kod planetnog zupčanika nije tako "intuitivan", prvenstveno stoga što se pretvorba gibanja može izvesti na više načina
- Prijenosni omjer ovisi o BROJU ZUBA SVAKOG ZUPČANIKA i o tome koja od komponenata planetnog prijenosa je FIKSIRANA!!

Zupčasti prijenosnici snage i gibanja – Planetni prijenosnici (7)

- Nosač (pokretna ruka) je najčešće pokretna, ali može biti i učvršćena.
- Kružni zupčanik može biti ulazno ali i izlazno vratilo; ista logika vrijedi i za pokretni nosač
- OPĆA FORMULA ZA IZRAČUN BRZINA

$$\left(2 + i_{sp}\right)\omega_k + i_{sp}\omega_s - 2\left(1 + i_{sp}\right)\omega_n = 0; \quad i_{sp} = \frac{z_s}{z_p}$$

i_{sp} - prijenosni omjer između sunčanog i planetnog zupčanika

ω_k - kutna brzina (kružnog) prstenastog zupčanika (*annulusa*)

ω_s - kutna brzina sunčanog zupčanika

ω_n - kutna brzina nosača (ruke) planetnog zupčanika

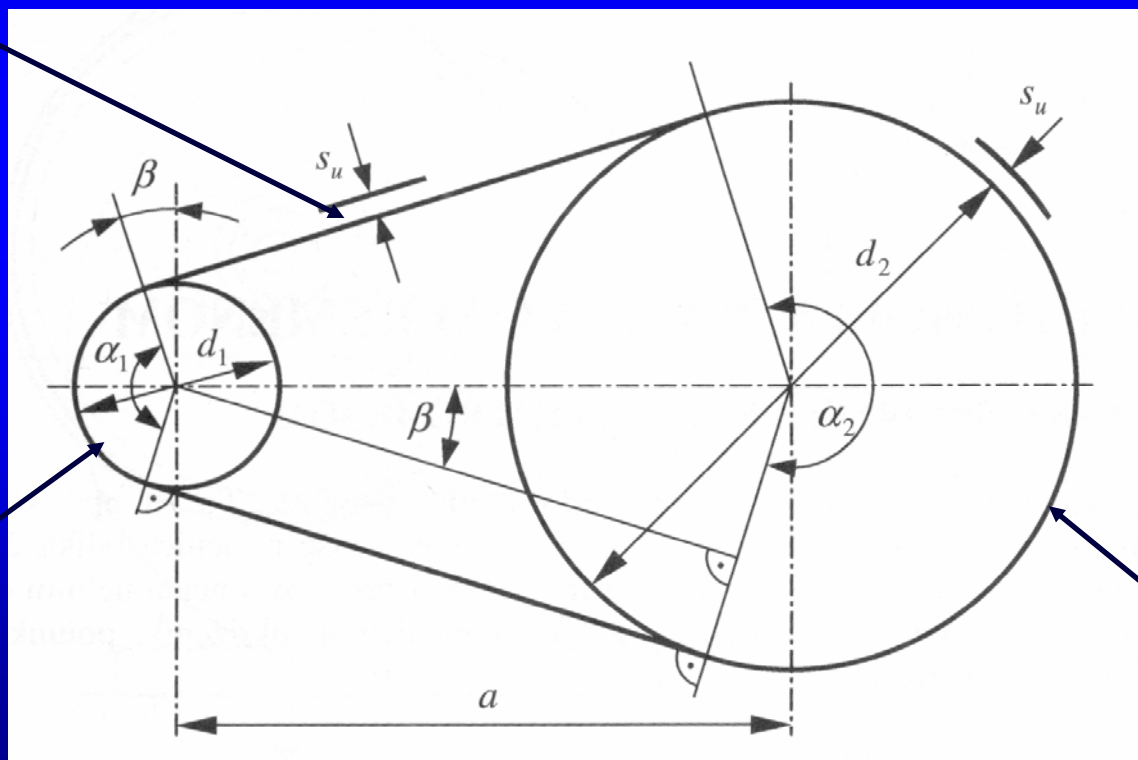
Remenski prijenosnici (1)

Komponente remenskog prijenosa

Remenskim prijenosima prenosi se snaga između vratila **kojima su osi međusobno udaljene**. Prijenos torzijskog momenta s remenice na remen obavlja se obodnom silom trenja.

remen

pogonska
remenica



gonjena
remenica

Remenski prijenosnici (2)

Uz pretpostavku da je klizanje remena zanemarivo (u praksi se kreće između 1 i 2%), prijenosni omjer remenskog prijenosa je:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{d_2}{d_1}$$

n_1 – brzina vrtnje **pogonske** remenice

n_2 – brzina vrtnje **(po)gonjene** remenice

d_1 – promjer **pogonske** remenice

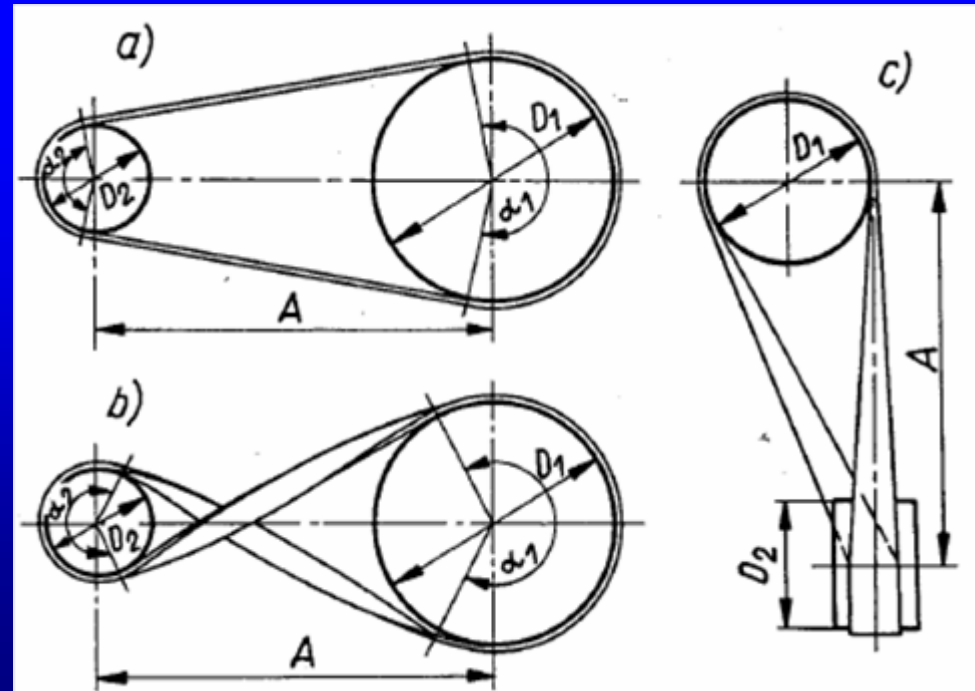
d_2 – promjer **(po)gonjene** remenice

Remenski prijenosnici (3)

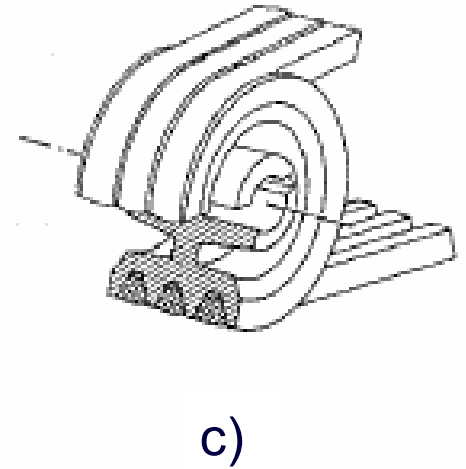
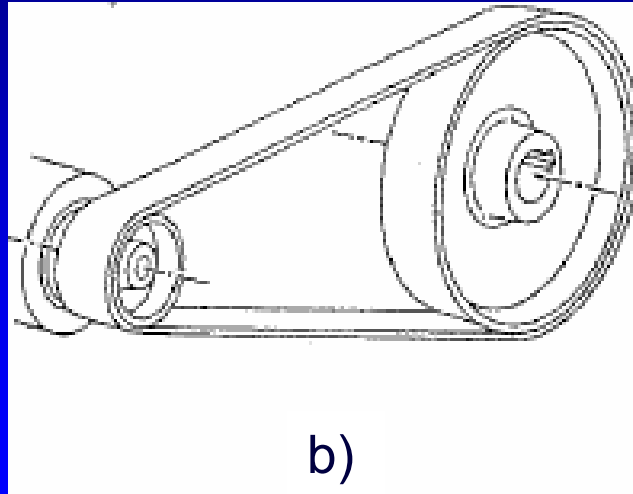
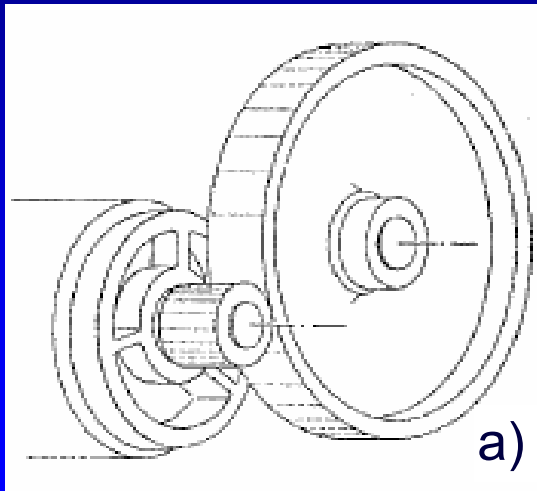
- Remenski prijenos je **najjednostavniji prijenos snage kod prostorno pogonski odijeljenih rotacijskih sustava**. Vratila su najčešće paralelna, ali mogu biti i zakrenuta pod nekim kutem
- Najčešće korišten je **otvoreni** remenski prijenos (a)
- **Križni** pogon koristi se kada je potrebno promijeniti smjer vrtnje radnog vratila u odnosu na pogonski (b)
- **Polukrižni** se koristi za povezivanje pogonskog i radnog stroja s međusobno ukriženim vratilima (c)

Vrste remenskih prijenosa:

- tarni (specifičan, bez remena)
- plosnati
- zupčasti
- klinasti

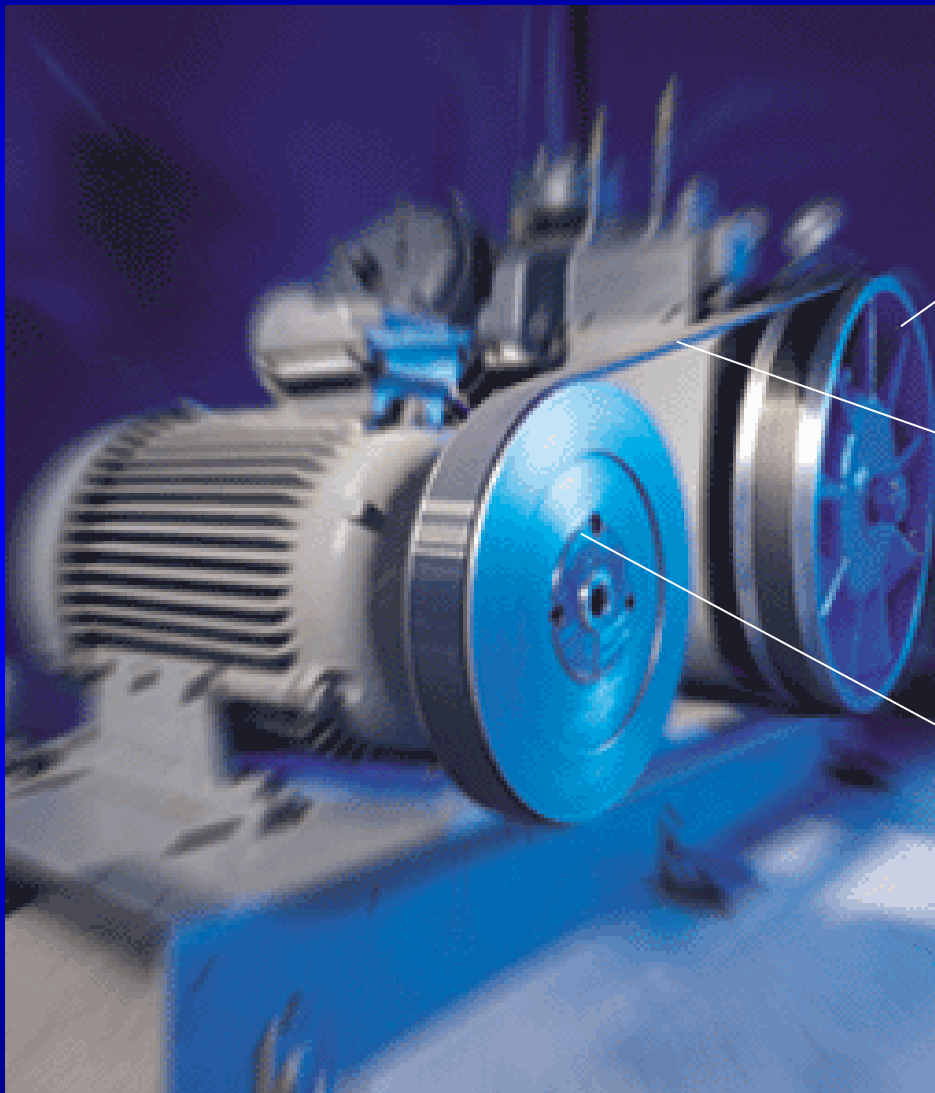


Remenski prijenosnici (4)



- *Tarni* prijenos (a) je specifičan slučaj prijenosa obodne sile trenjem. Iako se prema načinu prijenosa obodne sile i remenski prijenos mogu smatrati *tarnim* prijenosnicima u širem smislu, uobičajeno je *tarnim* prijenosom nazivati prijenos s neposrednim dodirnom tarnih tijela.
- *Remenski* prijenosi se dijele u dvije skupine
 - ➔ s mogućnošću proklizavanja, *plosnati* (b) i *klinasti* remeni (c),
 - ➔ *bez* mogućnosti proklizavanja, *zupčasti remen* (slika slijedeći slide)

Remenski prijenosnici (5) - primjer prenosa plosnatim remenom

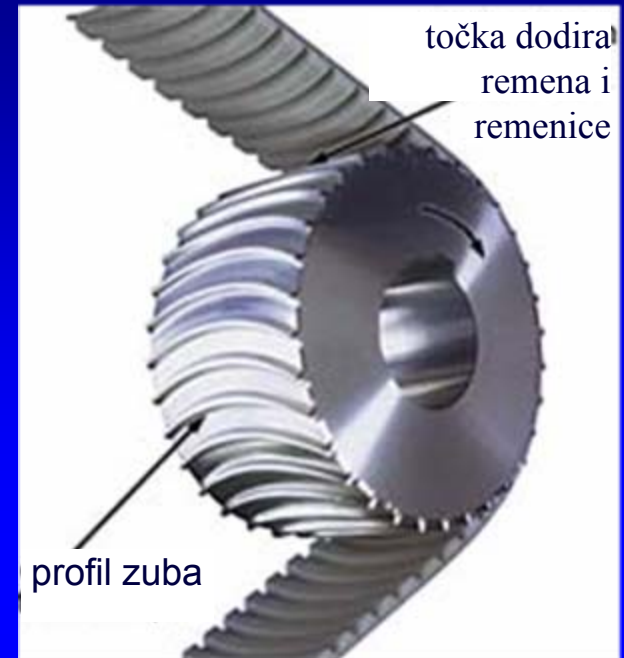


**POGONJENA
REMENICA**

REMEN

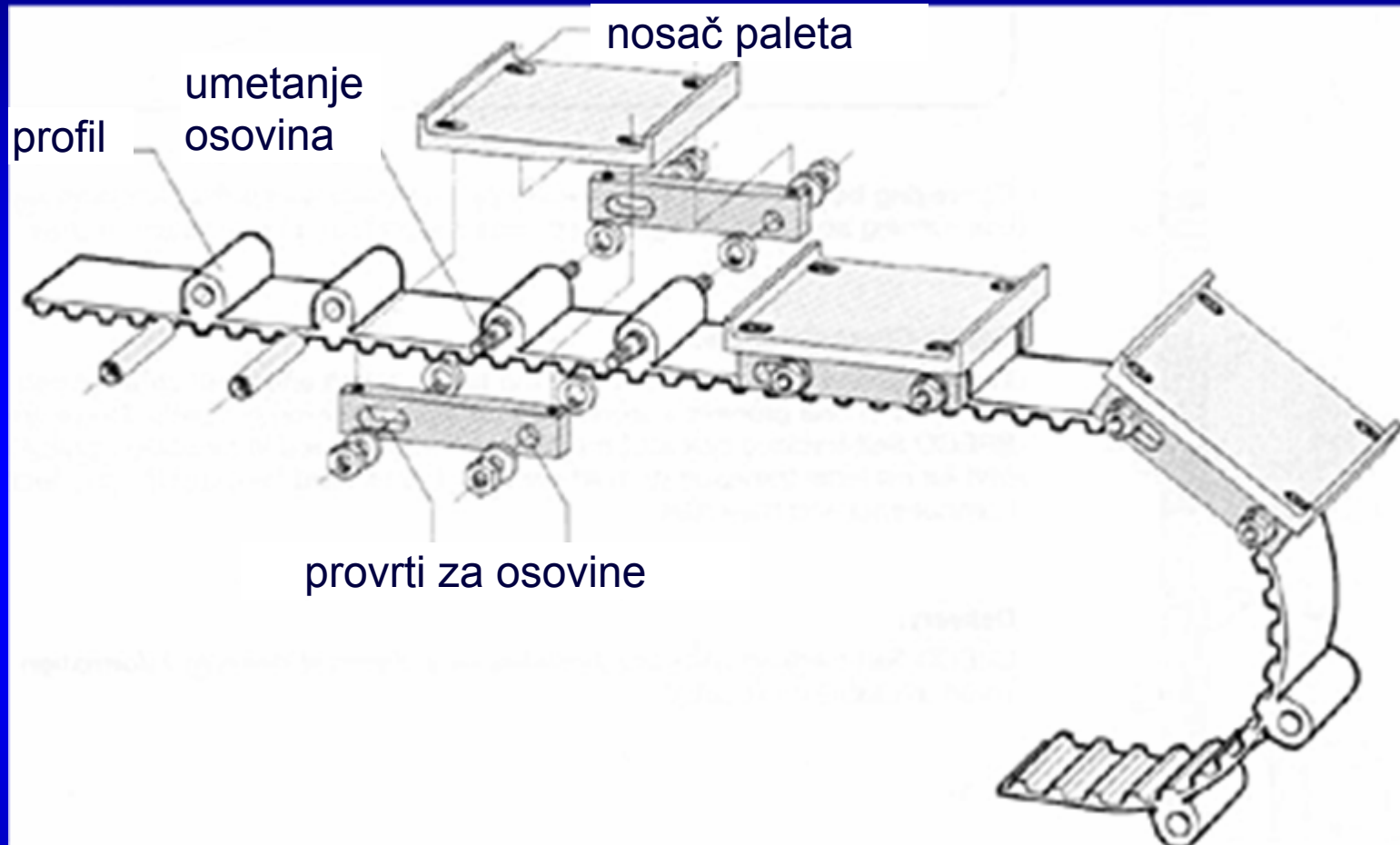
**POGONSKA
REMENICA**

Remenski prijenosnici (6)



- Da bi se osigurao **prijenos snage s čvrstim prijenosnim omjerom** (bez klizanja), koristi se **zupčasto remenje** (slika gore-lijevo)
- Najveća im je primjena **u automobilskoj industriji za povezivanje radilice i bregaste osovine** a općenito se koriste za prijenos snage do cca 150kW i za obodne brzine do 70m/s
- Prijenos je **bučniji od ostalog remenja**, a problem se rješava specijalnom izvedbom zuba (slika desno-gore)

Remenski prijenosnici (7) - primjena



- Primjer: Indeksno pozicioniranje primjenom modularnog remenskog prijenosnika u procesu montaže kolica za palete

Remenski prijenosnici (8)

Prednosti

- jednostavnost, raznolikost povezivanja pogonskog i radnog stroja, niska cijena izrade i jednostavnost u održavanju.
- ublažuje udarce tereta, prigušuje vibracije te štiti strojeve od preopterećenja (zahvaljujući mogućnosti proklizavanja remena)
- prijenos snage (momenta) se vrši s malim gubicima, stupanj iskorištenja za plosnati remen je između 96 i 98%

.... i nedostaci

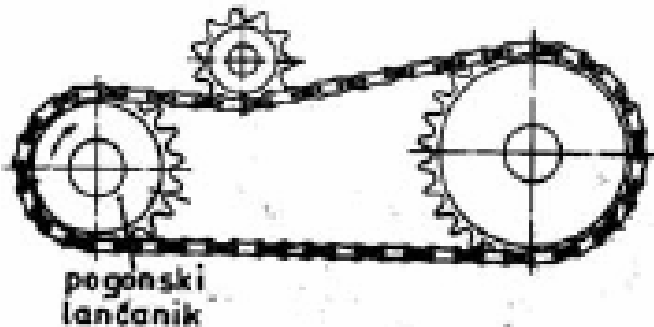
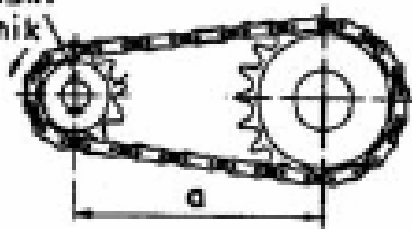
- potreba za periodičnim zatezanjem remena da bi se izbjeglo proklizavanje a u svrhu prijenosa zadanog momenta na radni stroj.
- izloženost kemijskim i drugim utjecajima iz okoline mogu dovesti do pogoršanja karakteristika prijenosa (brže starenje remena zahtijeva nužnu zamjenu remena, doticaj s uljem iz okoline može rezultirati češćim proklizavanjem, itd) .

Lančasti prijenosnici (1)

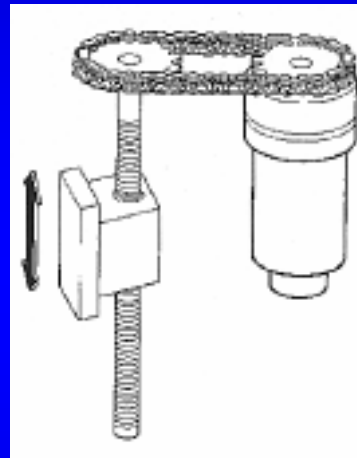
- Služi za prijenos snage i gibanja između vratila koja su na većem (proizvoljnom) rastojanju.
- Manje su osjetljivi na vanjske uvjete (u odnosu na tarne, remenske i zupčaste prijenosnike)
- Jednostavni su za montažu i demontažu, ali imaju veći broj komponenata
- Postoji mogućnost razvoda snage (više gonjenih strojeva s jednim pogonskim lancem)
- Jeftiniji su od zupčastih prijenosnika
- Potrebno je podmazivanje i zaštita od prašine, vlage i drugih loših okolnih uvjeta

Lančasti prijenosnici (2)

pogonski
lančanik



- Zbog potrošenosti dijelova lanca i lančanika potrebno je zategnuti lanac (vidi na slici)



- Primjena (motor koji preko lančanika pokreće navojno vreteno)

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

- Prijenosni omjer – kao i kod ostalih zupčastih prijenosa

LITERATURA

1. M. Opalić, *Prijenosnici snage i gibanja*, HDESK, Zagreb, 1998.
2. M. Opalić, *Osnovni pojmovi iz prijenosa snage i gibanja*,
<http://www.fsb.hr/elemstroj/mehanicke/pdf/Osnovni.pdf>, datum pristupa 23.04.2008.
3. E. Oberšmit, *Ozubljenja i zupčanici*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1990.
4. O. Vinogradov, *Fundamentals of Kinematics and Dynamics of Machines and mechanisms*, CRC Press, 2000.
5. E. Oberšmit, A Krasnik, *Prijenosnici snage – Zbirka riješenih zadataka iz elemenata strojeva*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.
6. Planetni prijenos,
http://en.wikipedia.org/wiki/Epicyclic_gearing#Gear_ratio#Gear_ratio, datum pristupa 23.04.2008.
7. D. Siminiati, *Mehanički pretvarači*, Predavanja iz kolegija Mehatronika, Tehnički fakultet Rijeka, 2006.