

Spojke u mehatronici

Lukčić, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Technical College in Bjelovar / Visoka tehnička škola u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:405430>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

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



VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

SPOJKE U MEHATRONICI

Završni rad br. 21/MEH/2017

Tomislav Lukčić

Bjelovar, listopad 2017.



Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Lukčić Tomislav** Datum: 11.07.2017.

Matični broj: 001154

JMBAG: 0314011240

Kolegij: **ELEMENTI PRECIZNE MEHANIKE**

Naslov rada (tema): **Spojke u mehatronici**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Opće strojarstvo (konstrukcije)**

Mentor: **mr.sc. Stjepan Golubić**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za završni rad:

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

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 21/MEH/2017

U radu je potrebno:

- opisati spojke,
- opisati osnove proračuna,
- opisati materijale za izradu spojki,
- prikazati primjere primjene u mehatronici.

Zadatak uručen: 11.07.2017.

Mentor: **mr.sc. Stjepan Golubić**



SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SPOJKE.....	2
3. KRUTE SPOJKE	4
3.1. Čahurasta spojka.....	4
3.2. Školjkasta spojka	5
3.3. Ljuskasta spojka SKF	6
3.4. Kruta spojka s prirubnicama.....	7
3.5. Sellersova spojka	9
3.6. Hirthova zupčasta spojka.....	10
4. KOMPENZACIJSKE SPOJKE	13
4.1. Kandžasta spojka	13
4.2. Oldhamova spojka	14
4.3. Schmidtova spojka.....	16
4.4. Zupčasta spojka	17
4.5. Kardanski zglob (Hookeov zglob).....	18
4.5.1. Spojka s kuglastim zglobom	20
4.5.2. Kardanski zglob s kuglicama	23
4.6. Kardansko vratilo (kardan).....	24
4.7. Dvostruka kardanska spojka.....	26
4.8. Kompenzacijske spojke s čeličnim lamelama	27
4.9. Kompenzacijske spojke s gumenim lamelama	32
5. ELASTIČNE SPOJKE.....	34
5.1. Elastične spojke s pojasom	35
5.2. Elastične spojke s valjkastim ulošcima	40
5.3. Elastične kandžaste spojke	41

5.4. Spojke s metalnim elastičnim elementima	44
5.4.1. Spojka s vijugavom opružnom trakom (Bibby - spojka)	44
5.4.2. Spojka sa zavojnim cilindričnim oprugama.....	45
5.4.3. Voith – Maurerova spojka	47
5.4.4. Spojka Axien.....	48
6. TARNE SPOJKE	49
6.1. Stožasta tarne spojka	49
6.2. Pločasta tarne spojka	50
6.3. Radijalna tarne spojka	50
6.4. Tarna spojka s jednom lamelom.....	51
7. ELEKTROMAGNETSKE SPOJKE.....	54
7.1. Elektromagnetske tarne spojke.....	54
7.1.1. Jednolamelne elektromagnetske tarne spojke	55
7.1.2. Višelamelne elektromagnetske tarne spojke	57
8. HIDRODINAMIČKE SPOJKE	59
9. SPECIJALNE VRSTE SPOJKI.....	62
9.1. Centrifugalne spojke.....	62
9.2. Jednosmjerne spojke.....	64
9.3. Sigurnosne spojke.....	68
9.3.1. Sigurnosna spojka sa svornjacima	68
9.3.2. Sigurnosna tarne spojka	68
9.3.3. Sigurnosna spojka s kuglicama, kandžama i s radijalnim grebenom.....	69
10. OSNOVE PRORAČUNA SPOJKI.....	71
10.1. Proračun krutih spojki	72
10.2. Proračun kompenzacijskih spojki.....	75
10.3. Proračun kardanskog zgloba i kardanskog vratila.....	78
10.3.1. Ubrzanje i moment ubrzanja vratila.....	81

10.3.2. Moment na međuvratilu i izlazni moment	82
10.3.3. Momenti savijanja vratila	83
10.3.4. Sile u ležajima A i B	85
10.3.5. Sile u ležajima C i D.	86
10.4. Proračun elastičnih spojki.....	87
10.4.1. Smanjivanje oscilacija momenta elastičnih spojki	96
10.5. Proračun tarne spojke	100
10.6. Proračun hidrodinamičke spojke	107
11. MATERIJALI ZA IZRADU SPOJKI.....	117
12. PRIMJERI PRIMJENE SPOJKI U MEHATRONICI	118
13. ZAKLJUČAK	122
14. LITERATURA.....	123
15. OZNAKE I KRATICE.....	124
16. SAŽETAK.....	130
17. SUMMARY	131

1. UVOD

U ovom radu su opisane vrste spojki, opisani su materijali koji se koriste za izradu spojki i osnove proračuna spojki. Osnovni zadatak spojki je prenošenje momenta torzije s jednog vratila na drugo. Postoje razne vrste spojki od kojih su najjednostavnije krute spojke, a najkompliciranije hidrodinamičke spojke.

U prvom dijelu rada uz osnovnu funkciju spojki koja je spajanje dva vratila i prenošenje momenta torzije navedene su i dodatne funkcije koje spojke mogu imati, te je navedena njihova podjela. Dalje su opisane krute spojke, kompenzacijske spojke, tarne spojke, elektromagnetske spojke, hidrodinamičke spojke i specijalne spojke. Za svaku vrstu spojki su opisane izvedbe spojki i princip na koji rade.

Drugi dio rada opisuje osnove proračuna spojki gdje su prikazane jednadžbe kojima se izračunavaju momenti i sile koje djeluju na spojke, ali i brzine vrtnje koje prenose, dok su u trećem dijelu rada opisani materijali od kojih se izrađuju spojke ili njihovi dijelovi i navedeni su primjeri gdje se koriste spojke.

2. SPOJKE

Spojke su dijelovi strojeva koji imaju funkciju povezivanja dvaju vratila, a svrha je prijenos energije i okretnog momenta s pogonskog na gonjeni stroj. Osim prenošenja momenta spojke mogu služiti za zaštitu uređaja gonjenog stroja pri opterećenju, a osim tih funkcija pojedine vrste spojki mogu imati dodatnu funkciju [1]:

- prilagodbu odstupanja osi vratila nastalih netočnom izradom, netočnom ugradnjom ili pod djelovanjem opterećenja,
- prigušenje torzijskih vibracija,
- smanjenje oscilacija momenta torzije i udara pri pokretanju i u radu,
- upravljano ili automatsko uspostavljanje ili prekidanje prenošenja momenta torzije,
- osiguravanje od preopterećenja ili neželjenog smjera okretanja i drugo.

Postoje različite vrste spojki koje se primjenjuju, a najjednostavnije su krute spojke dok su najkompliciranije tarne i hidrodinamičke spojke. Prema funkciji spojke možemo podijeliti na [1]:

1. krute spojke,
2. kompenzacijske spojke,
3. elastične spojke,
4. izvrstive spojke,

Na slici 2.1. prikazan je primjer krute spojke, elastične spojke i kompenzacijske spojke.



Slika 2.1. Primjer krute, elastične i kompenzacijske spojke [2]

Uobičajena je podjela spojki prema [3] na:

1. Neelastične
 - a. krute
 - b. dilatacijske
 - c. poprečno pokretljive
 - d. kutno pokretljive
2. Elastične
 - a. s prigušnim elementima
 - b. s opružnim elementima
3. Isključne i uključno – isključne
 - a. zupčaste (kandžaste)
 - b. tarne (frikcijske)
4. Posebne
 - a. za upuštanje u rad
 - b. sigurnosne
 - c. jednosmjerne.

3. KRUTE SPOJKE

Krute spojke povezuju dva vratila s jednakim ili različitim promjerima u jednu cjelinu. Dijelovi krute spojke ostvaruju čvrstu i nepokretnu vezu spojenih vratila koja se tada ponašaju kao jedna cjelina te radi toga takve spojke ne prenose samo gibanje već i vibracije i udarce. Ugradnja krutih spojki zahtjeva vrlo dobru poravnatost osi vratila, te nisu moguća aksijalna ni radijalna pomicanja vratila. Krutim spojkama najčešće se spajaju transmisijiska vratila.

Najpoznatije vrste krutih spojki jesu prema [1]:

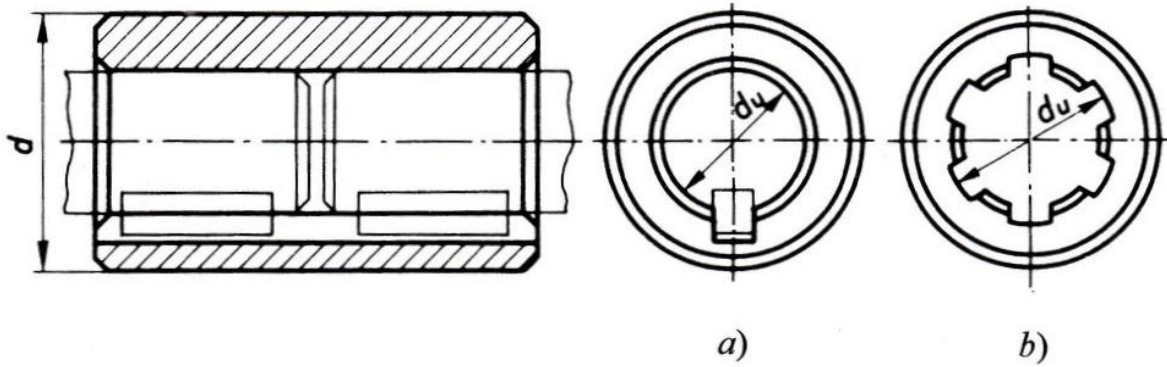
- čahurasta spojka,
- školjkasta spojka,
- ljuskasta spojka SKF,
- kruta spojka s prirubnicama,
- Sellersova spojka,
- Hirthova spojka.

3.1. Čahurasta spojka

Čahurasta spojka ima oblik čahure i izrađena je od sivog lijeva ili čelika. Konstrukcija čahuraste spojke je jednostavna i najčešće se primjenjuje za spajanje vratila promjera $d_u=10 - 100$ mm i čija je poravnatost osi unaprijed osigurana, dok orijentacijske mjere za čahurastu spojkicu iznose [1]:

- vanjski promjer čahuraste spojke $d=(1,4 - 1,8)d_u$ i
- dužina čahuraste spojke $L=(2,5 - 3,5)d_u$.

Čahurasta spojka je navučena na krajeve vratila s kojima može biti spojena klinovima, perima, vijkom za pričvršćivanje ili poprečnim zaticima. Ako se za spajanje primjenjuju klinovi treba predvidjeti povećanu dužinu utora na vratilima koja će omogućiti umetanje klina, te radi toga čahurasta spojka ne može biti postavljena neposredno pored ležaja. Čahurastom spojkicom se mogu spojiti i nazubljena vratila, ali je tada nazubljen i provrt spojke. Na slici 3.1. prikazana je čahurasta spojka gdje je pod *a*) prikazan spoj s perom, a pod *b*) spoj s nazubljenim vratilom.

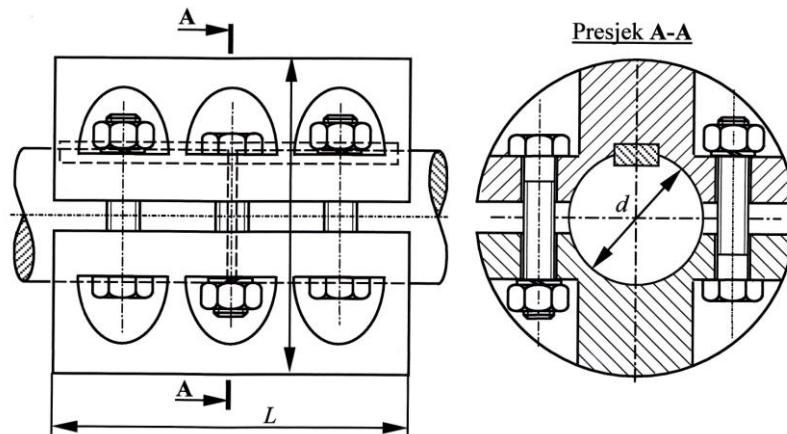


Slika 3.1. Čahurasta spojka, a) spoj s perom, b) spoj s nazubljenim vratilom [1]

Postavljanje i skidanje čahurastih spojki je složeno, jer je potrebno pomaknuti jedno vratilo ili spojku za polovinu njene dužine. Ako pri ugradnji spojke uzdužni pomak vratila ili spojke nije moguć umjesto čahuraste spojke može se ugraditi školjkasta spojka.

3.2. Školjkasta spojka

Školjkasta spojka prikazana na slici 3.2. se sastoji iz dva dijela međusobno spojena vijcima duž osi. Između dijelova spojke ostaje zračnost kako bi oba dijela spojke pritezanjem što jače prilegla na vratilo. Moment prenosi obodna sila trenja, a može se dodati i uložno pero.

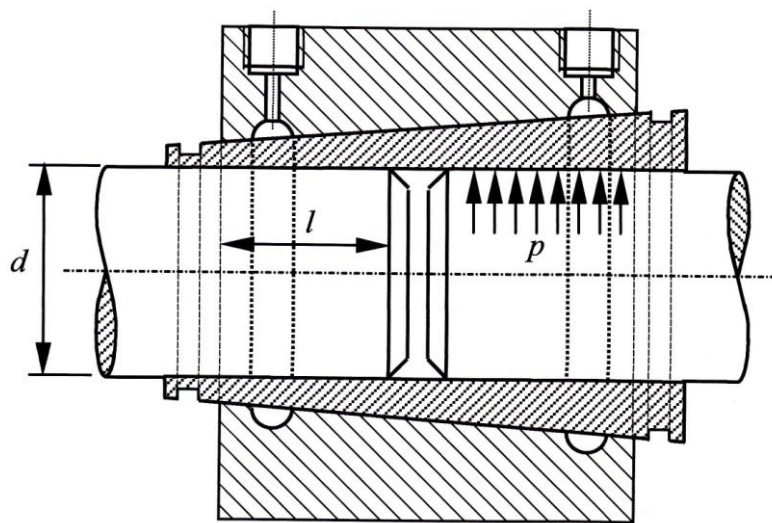


Slika 3.2. Školjkasta spojka [1]

Školjkasta spojka se može izvesti kao redukcijska spojka za spajanje vratila različitih promjera. Primjenjuje se u transmisijskim postrojenjima male i srednje snage. Prednost školjkaste spojke je što je sigurna, jednostavna i jeftina, a i lako se postavlja i skida. Nedostatak je što se ne može uporabiti za velika udarna i promjenjiva opterećenja.

3.3. Ljuskasta spojka SKF

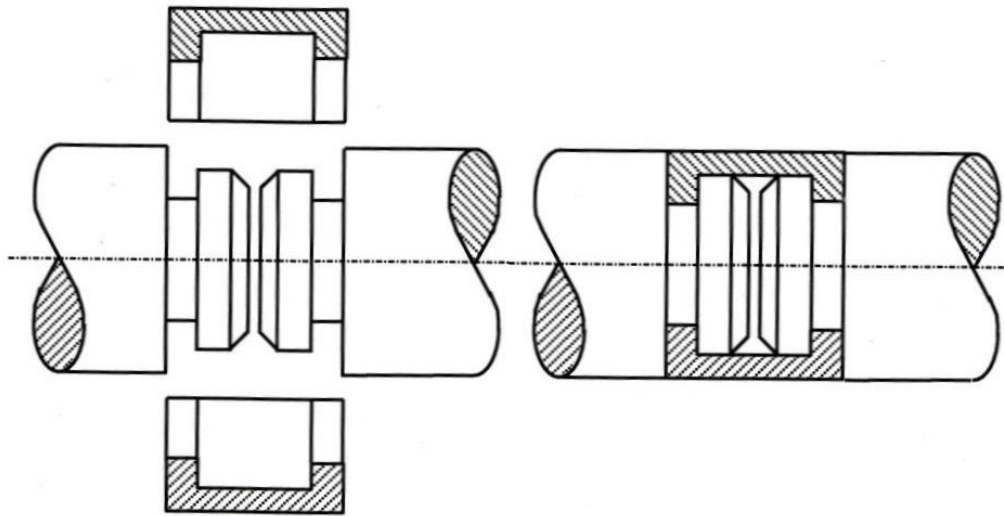
Ljuskasta spojka SKF sastoji se iz vanjske i unutarnje stožaste ljuske s nagibom stošca 1:30 do 1:80. Karakteristično za ljuskaste spojke je da su malih dimenzija i mase. Unutarnja ljuska je tanka, jednodijelna i nerazrezana, a izrađena je iz kvalitetnog čelika. S unutarnje strane je cilindrična, a s vanjske stožasta. Unutarnji promjer joj je neznatno veći od promjera vratila d_u , pa se lako postavlja. Vanjska ljuska je deblja, vanjskog promjera oko 1,5 i dužine oko 2,5 promjera vratila. S vanjske strane je cilindrična, a s unutarnje stožasta [1]. Slika 3.3. prikazuje ljuskastu spojku SKF.



Slika 3.3. Ljuskasta spojka SKF [1]

Spojka se postavlja tako da se unutarnja ljuska postavi na vratilo, a preko unutarnje ljuske se navuče vanjska ljuska. Kako bi se navlačenje ljuske olakšalo vanjska ljuska ima urezane kanale na unutarnjoj strani kroz koje se prilikom postavljanja i skidanja utiskuje ulje. Stožasti oblik na unutarnjoj ljusci izvana, a na vanjskoj iznutra omogućava da se prilikom navlačenja vanjske ljuske elastično deformira unutarnja ljuska i priljubi uz krajeve vratila. To omogućuje prenošenje momenta torzije s vratila na vratilo trenjem. Ljuskasta spojka se primjenjuje kod brodskih osovinskih vodova, vodnih turbina, mehaničkih prijenosa i sl.

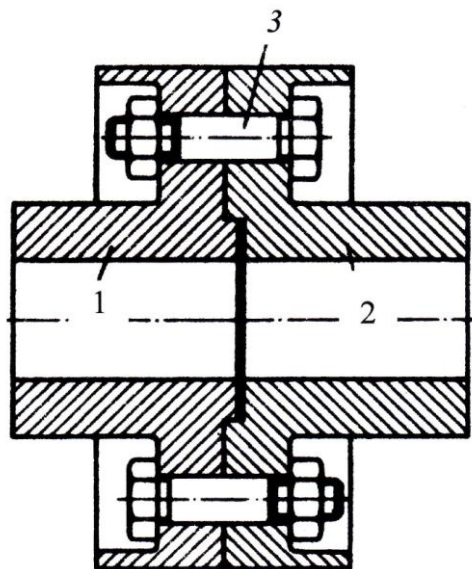
Školjkasta i ljuskasta spojka mogu prenijeti i uzdužnu silu ako se krajevi vratila posebno oblikuju i sastave primjenom dvodijelnog prstena, koji će biti usidren na krajeve vratila i tako preuzeti prenošenje uzdužne sile [1]. Slika 3.4. prikazuje posebno oblikovane krajeve vratila i umetak za prenošenje uzdužne sile.



Slika 3.4. Umetak za prenošenje uzdužne sile [1]

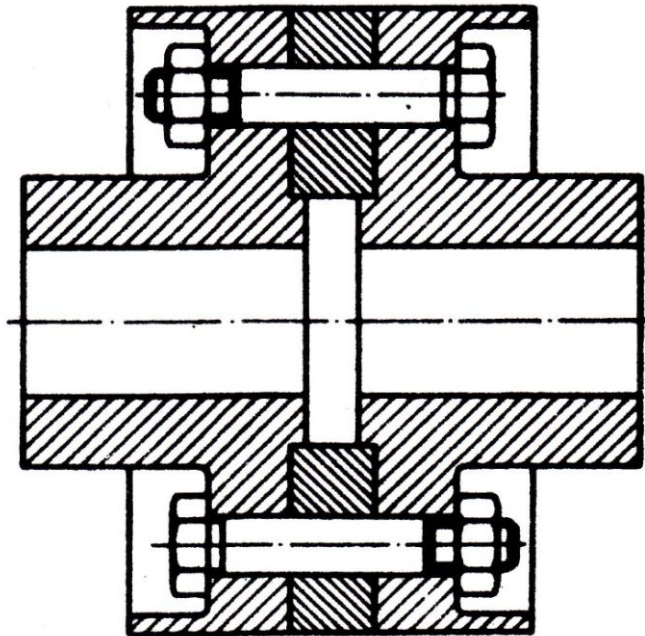
3.4. Kruta spojka s prirubnicama

Kruta spojka s prirubnicama sastoji se iz dvije prirubnice koje se postavljaju na vratila, a mogu biti izvedene kao posebno oblikovani krajevi vratila. Na slici 3.5. je prikazana kruta spojka s prirubnicama izvedba A DIN 116 (HRN M.C1.510) gdje su na slici s brojevima 1 i 2 označene dvije glavine s prirubnicama, od kojih jedna prirubnica ima nastavak za centriranje, koje su povezane s dosjednim vijcima označenim brojem 3 [1].



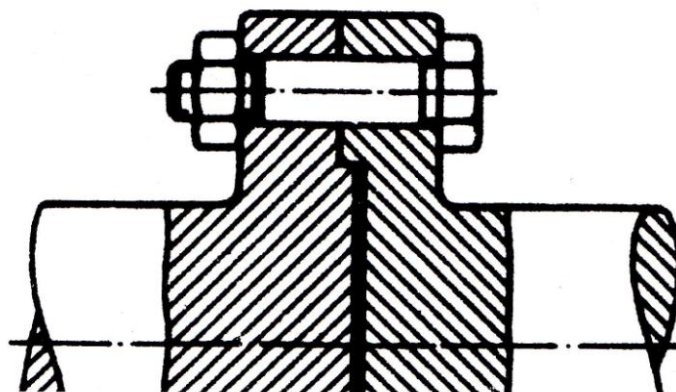
Slika 3.5. Kruta spojka s prirubnicama [1]

Slika 3.6. prikazuje način gdje se upotrebljavaju dvije jednake prirubnice u izvedbi B DIN 116 (HRN M.C1.510) koje se centriraju s dodatnim prstenom [1].



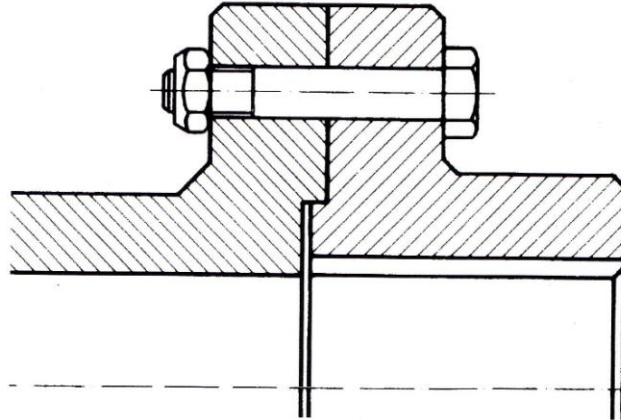
Slika 3.6. Kruta spojka s prirubnicama i prstenom za centriranje [1]

Prirubnice se mogu oblikovati kovanjem krajeva vratila prema DIN 760 (HRN M.C1.510) što je prikazano slikom 3.7. [1].



Slika 3.7. Kruta spojka s prirubnicama oblikovanim kovanjem iz krajeva vratila [1]

Kruta spojke s prirubnicama može se izvesti kao redukcijaska spojka. Na slici 3.8. prikazana je kruta spojka s prirubnicama gdje je lijeva prirubnica izrađena prikladnim oblikovanjem kraja šupljeg vratila većeg promjera, a desna prirubnica kao dio glavine koja se spaja na vratilo pomoću pera.



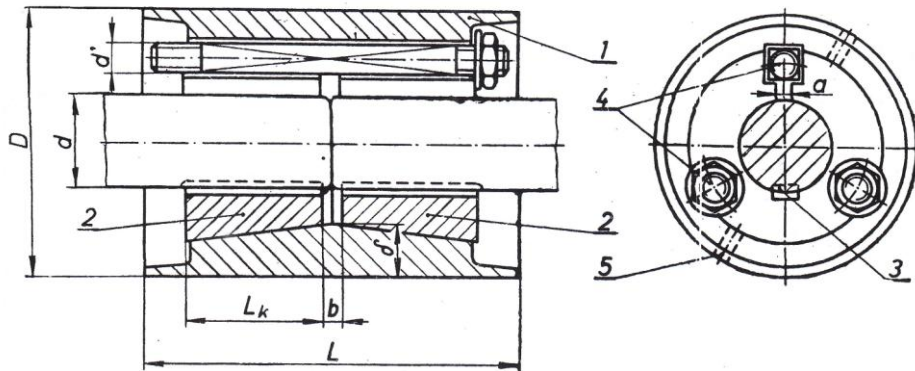
Slika 3.8. Kruta spojka s prirubnicom oblikovanom kovanjem i prirubnicom koja se spaja na vratilo preko pera [1]

3.5. Sellersova spojka

Sellersova spojka se sastoji od dva unutarnja stožasta prstena koja su prorezana i navučena na krajeve vratila, vanjskog dijela i tri vijka. Stožasti prsteni su uvučeni u vanjski plašt koji je stožast s unutarnje strane. Pomoću naizmjeničnog ravnomjernog pritezanja vijaka uvlače se stožasti prstenovi u vanjski plašt te se tako stvara pritisak na dosjednim površinama dovoljan za prenošenje zakretnog momenta s jednog vratila na drugo. Radi sigurnosti i osiguranja prijenosa dodana su dva uložna pera koja su postavljena nasuprot razrezima prstena. Za izbijanje stožastih prstena pri skidanju spojke dodana su dva otvora u sredini oklopa. Sellersova spojka se lako postavlja i skida i centriranje vratila je bolje. Nedostatak Sellersove spojke je to što je složena za izradu.

Slika 3.9. prikazuje Sellersovu spojku i dijelove od kojih se sastoji:

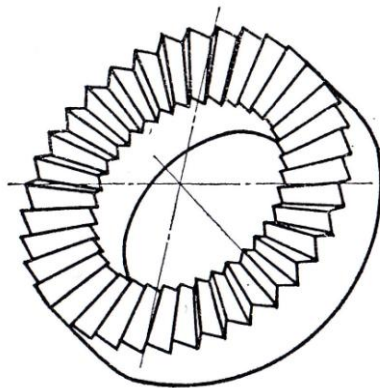
1. vanjski dio,
2. stožasti prsten,
3. uložno pero,
4. vijci,
5. otvor za izbijanje stožastog prstena.



Slika 3.9. Sellersova spojka s označenim dijelovima [1]

3.6. Hirthova zupčasta spojka

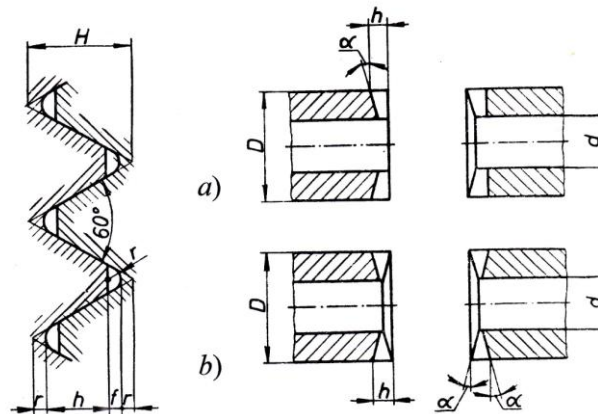
Hirthova zupčasta spojka se sastoji od dvije polovine koje su na čeonj strani radijalno ozubljene. Čeono ozubljenje polovine Hirthove spojke je prikazano na slici 3.10.



Slika 3.10. Pogled na čeono ozubljenje polovine Hirthove spojke [4]

Ozubljenje je relativno plitko i može se lako izraditi na čeonim dijelovima šupljih vratila, zupčanika i sl. Zubi se izrađuju glodanjem, a mogu biti i brušeni. Poprečni presjek zuba je istostrani trokut s kutom između bokova 60° .

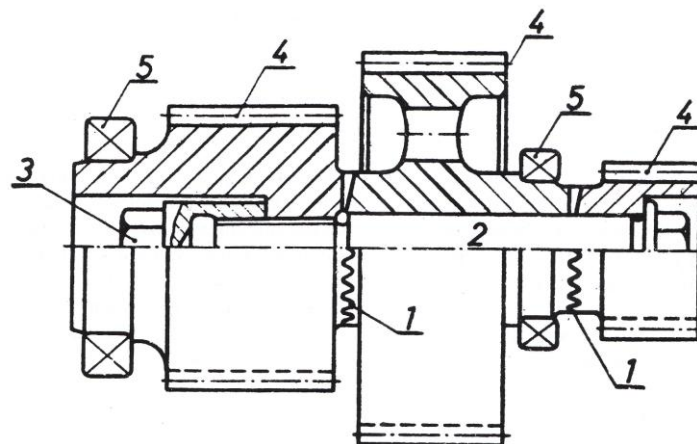
Profili zubi Hirthove spojke su prikazani na slici 3.11.



Slika 3.11. Profil i položaj zubi Hirthove spojke; a) nesimetričan, b) simetričan [1]

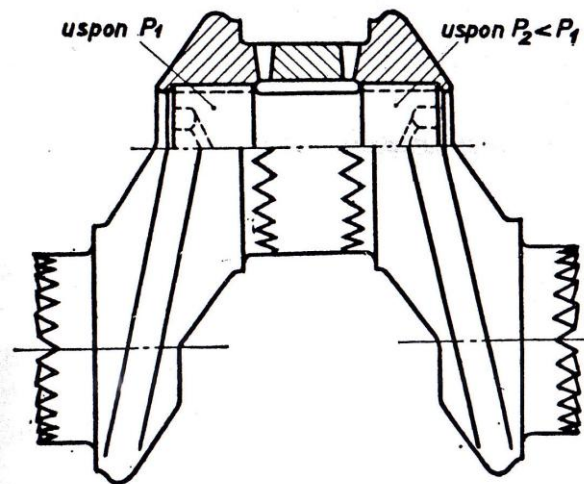
Hirthova spojka omogućava izravno spajanje strojnih dijelova međusobno s vratilima i pogodna je za spajanje završetaka vratila sa zupčanicima, za spajanje koljenastih vratila u cjelinu (kako bi se omogućila ugradnja valjnih ležajeva) itd. Na slici 3.12. prikazana je ostvarena veza triju zupčanika pomoću Hirthove spojke. Oznake na slici 3.12. označuju:

1. nazubljeni dio spojke,
2. vijak,
3. matica,
4. zupčanici,
5. valjni ležajevi.



Slika 3.12. Veza triju zupčanika ostvarena Hirthovom spojkom i centralnim vijcima [1]

Slika 3.13. prikazuje koljenasto vratilo dobiveno upotrebom Hirthove spojke. Na slikama se vidi da su zubi jedne polovine spojke u zahvatu sa zubima druge polovine spojke, te tako zubi centriraju spojene strojne dijelove. Polovine spojke se međusobno spajaju pomoću vijka kroz središnji otvor spojke.



Slika 3.13. Koljenasto vratilo dobiveno upotrebom Hirthove spojke [4]

4. KOMPENZACIJSKE SPOJKE

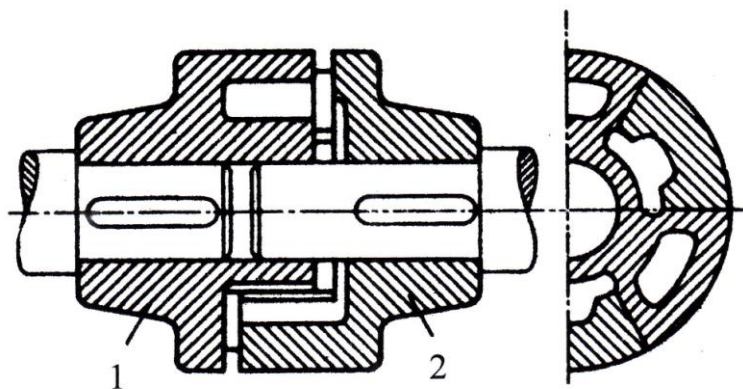
Kompenzacijske spojke omogućavaju međusobne pomake vratila i ti pomaci mogu biti: uzdužni pomak, poprečni pomak, kutni pomak, uzdužni i kutni pomak. Kompenzacijske spojke su neophodne tamo gdje se očekuju netočnosti u montaži ili pomaci u toku rada (ako su pogonski i radni stroj montirani na odvojenim temeljima, odnosno ako su pomaci osovina karakteristični za njihovu funkciju – vozila, obradni strojevi i slično) [1].

Neke od kompenzacijskih spojki su:

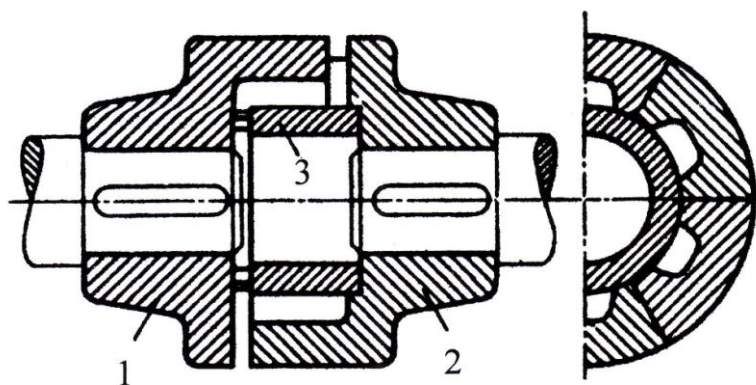
- kandžasta spojka,
- Oldhamova spojka,
- Schmidtova spojka,
- zupčasta spojka,
- Hookeov zglob (kardanski zglob),
- kardansko vratilo.

4.1. Kandžasta spojka

Kandžasta spojka (pandžasta spojka ili čeljusna spojka) izrađuju se dvodijelno ili trodijelno s neparnim brojem kandži (pretežno 3 ili 5 kandži). Na dijelovima spojke se s čelne strane nalaze posebno oblikovane kandže koje s malom zračnošću ulaze jedna u drugu. Kod dvodijelnih oba kraja vratila centriraju se u glavčini jedne polovine spojke, a kod trodijelnih centriranje se izvodi pomoću posebnog prstena za centriranje. Na slici 4.1. prikazana je dvodijelna kandžasta spojka, a na slici 4.2. prikazana je trodijelna kandžasta spojka. Dijelovi spojke označeni brojevima 1 i 2 na slikama 4.1. i 4.2. imaju posebno oblikovane kandže, a poseban prsten za centriranje na slici 4.2. označen je brojem 3.



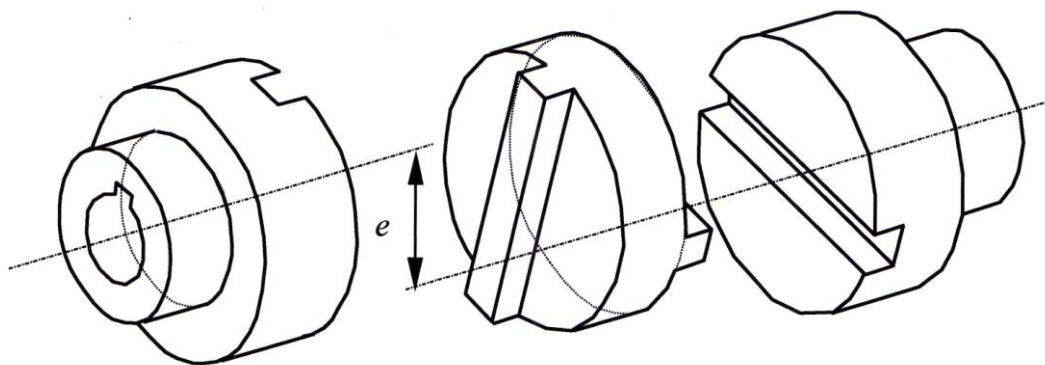
Slika 4.1. Dvodijelna kandžasta spojka [1]



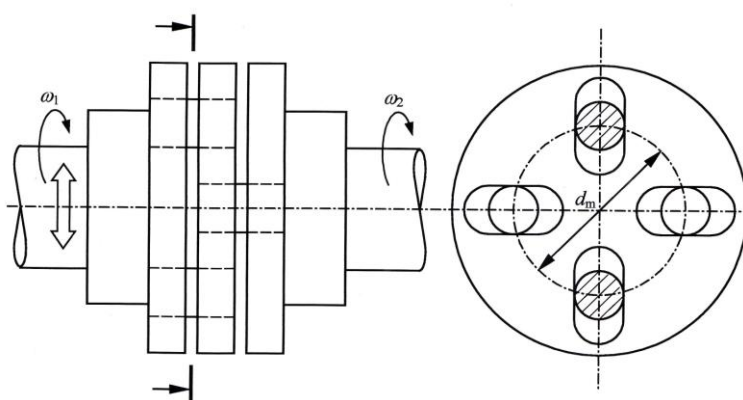
Slika 4.2. Trodijelna kandžasta spojka [1]

4.2. Oldhamova spojka

Oldhamova spojka (naziva se i križna spojka) omogućuje određena međusobna odstupanja pomicanja osi, a može djelovati kao dilatacijska spojka. Postoje različite izvedbe Oldhamove spojke, a najčešće su one s utorima i one s valjčićima. Sastoji se od tri dijela: pogonskog i gonjenog koji su najčešće jednaki te srednjeg križnog dijela, koji svojim čeonim ojačanjima u obliku pera ulazi u odgovarajuće utore dijelova. Oldhamova spojka s utorima prikazana je slikom 4.3. a s valjčićima slikom 4.4.



Slika 4.3. Oldhamova spojka s utorima [1]

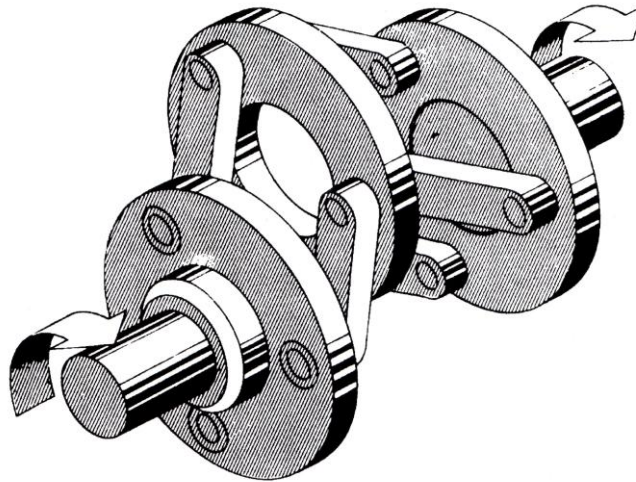


Slika 4.4. Oldhamova spojka s valjčićima [1]

Oldhamove spojke se upotrebljavaju kada se pri proizvodnji i montaži lakše može ostvariti paralelnost osi, a teže koaksijalnost. Često se primjenjuju kod alatnih strojeva.

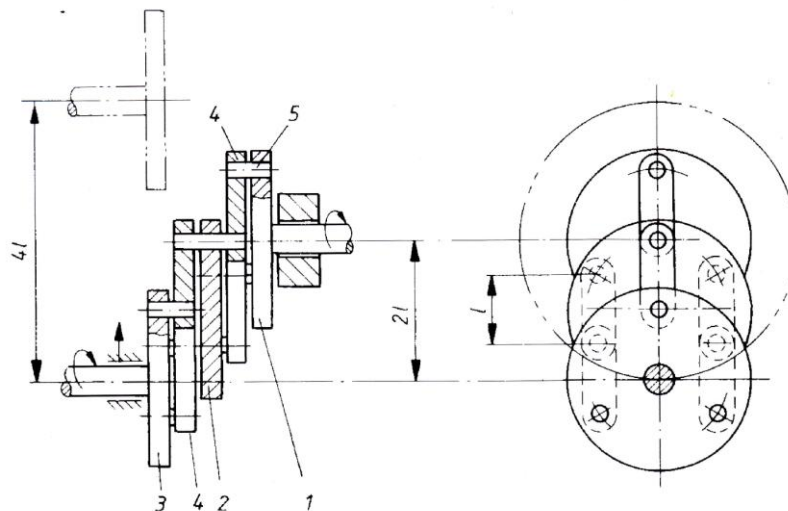
4.3. Schmidtova spojka

Schmidtova spojka se upotrebljava za kompenzaciju velikog poprečnog pomaka. Slika 4.5. prikazuje Schmidtovu spojku.



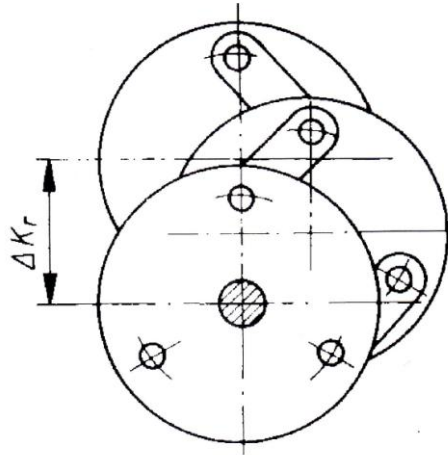
Slika 4.5. Schmidtova spojka [1]

Spojka se sastoji od dvije krajnje ploče (1 i 3), srednje ploče (2), spojnih elemenata (4) i osovina (5) koje povezuju te ploče. Na slici 4.6. je prikazana Schmidtova spojka s označenim dijelovima spojke i s vratilima u krajnjem položaju i poprečnim pomakom $4l$. Spojka ne može raditi s tako velikim razmakom između vratila.



Slika 4.6. Schmidtova spojka s označenim dijelovima, vratila u krajnjem položaju – poprečni pomak $4l$ (ali ne u radu!) [1]

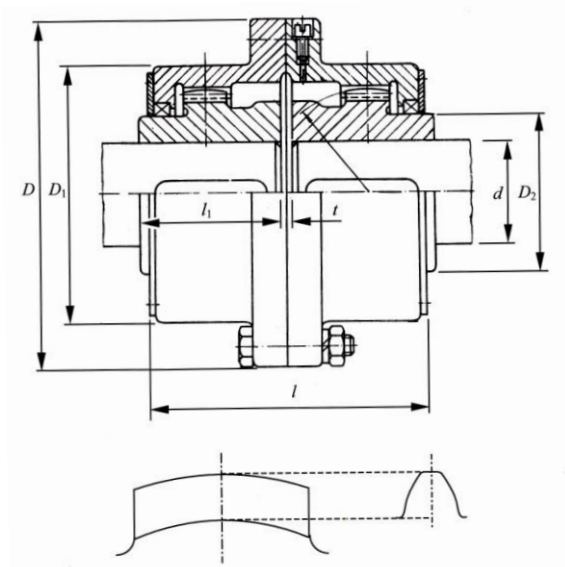
Poprečni pomak između vratila u radu može iznositi samo $\Delta K_r = (0,25 - 0,95)2l$, prikazano je slikom 4.7.



Slika 4.7. Schmidtova spojka, poprečni pomak u radu[1]

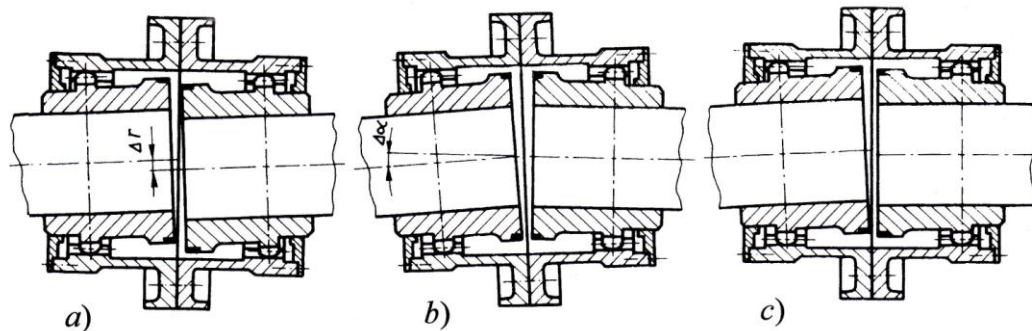
4.4. Zupčasta spojka

Zupčasta spojka se sastoji od dva šuplja valjka s vanjskim cilindričnim ozubljenjem, koji se navuku na vratila, te dvodijelnog kućišta s unutarnjim cilindričnim ozubljenjem i spaja se vijcima. Vanjsko je ozubljenje s lučnim (bombiranim) zupcima koji se mogu pomicati u unutarnjem ozubljenju. Zubi spojke se podmazuju uljem koje se dovodi pod tlakom s unutarnje strane kako bi trenje i trošenje bilo što manje. Slika 4.8. prikazuje zupčastu spojku s lučnim zupcima.



Slika 4.8. Zupčasta spojka s lučnim zubima[1]

Spojka se odlikuje velikom nosivošću, relativno velikim brzinama vrtnje i malim gubicima trenja, te se može primijeniti za prijenos velikih snaga i do 15000 kW [3]. Ovisno o izvedbi zupčaste spojke mogu kompenzirati uzdužne, poprečne i kutne pomake vratila. Jednostavna zupčasta spojka može preuzeti kutni pomak od 1° i uzdužni pomak od nekoliko milimetara. Dvostruka zupčasta spojka omogućuje poprečni pomak do 12 mm. Koriste se za kompenzaciju toplinskog istezanja, elastičnih ili radnih pomaka [1]. Na slici 4.9. prikazano je prilagođavanje zupčaste spojke poprečnom, kutnom i kombiniranom odstupanju vratila.

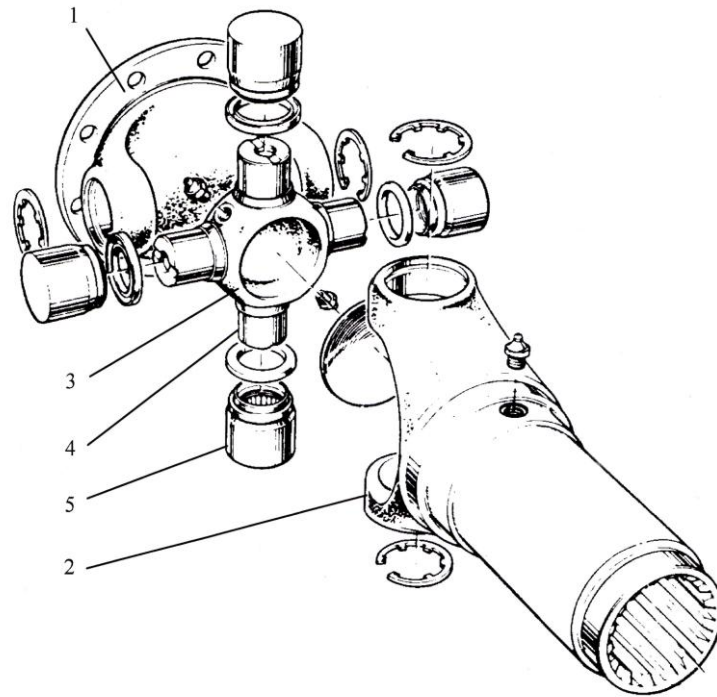


Slika 4.9. Prilagođavanje zupčaste spojke: a) poprečnom, b) kutnom i c) kombiniranom odstupanju [1]

4.5. Kardanski zglob (Hookeov zglob)

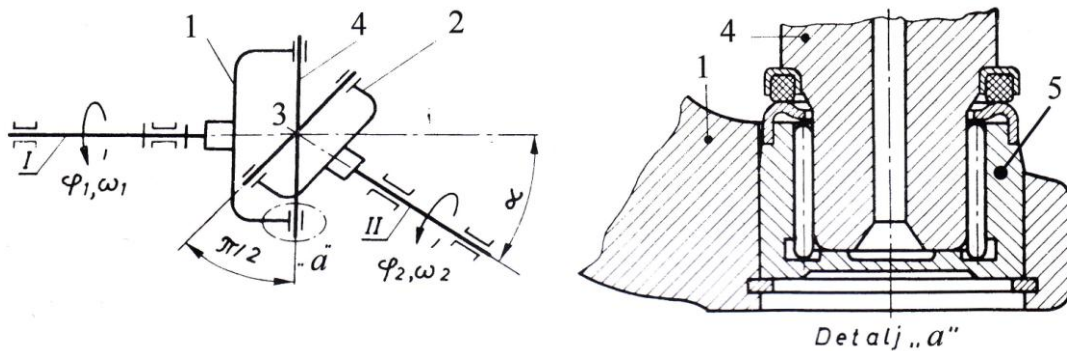
Osnovno svojstvo kardanskog zgloba je kompenzacija kutnog pomaka vratila do 15° i izrađuju se za promjere vratila do 200 mm. Osnove mehanizma kardanskog zgloba je postavio fizičar H. Cardano, a unaprijedio i patentirao ga je R. Hooke pa se često naziva i Hookeovim zglobom. Postoji više izvedbi kardanskog zgloba. Jedna od izvedbi kardanskog zgloba je križni zglob. Slika 4.10. prikazuje križni zglob koji se sastoji od:

1. glavina u obliku viljuške,
2. glavina u obliku viljuške,
3. križ u obliku prstena,
4. osovinice,
5. ležajevi.



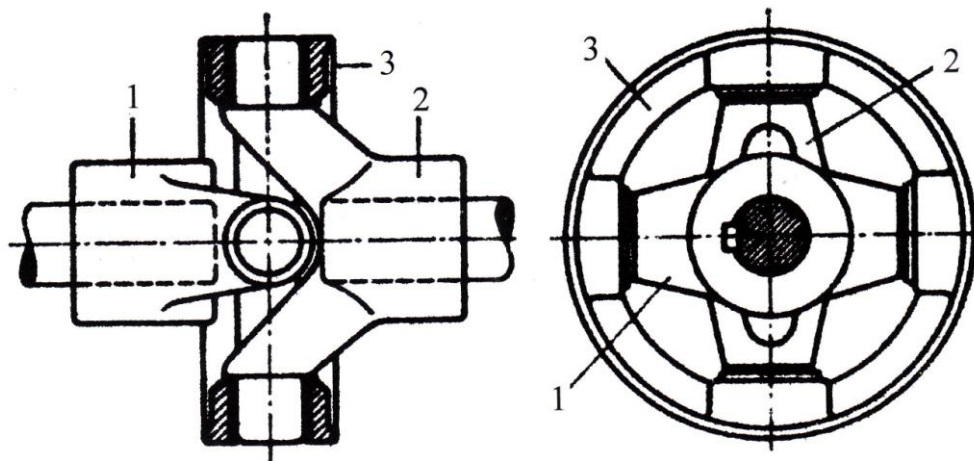
Slika 4.10. Križni zglob [1]

Na obodu križa u obliku prstena postavljene su četiri osovinice umetnute u ležajeve. Shematski prikaz kardanskog zgloba s označenim dijelovima kao na slici 4.10. i prikazom detalja osovinice u ležaju (detalj „a“) prikazan je slikom 4.11.



Slika 4.11. Shematski prikaz kardanskog zgloba i detalj osovinice u ležaju [1]

Druga izvedba kardanskog zgloba prikazana slikom 4.12. se sastoji od dviju glavina u obliku vilica s krajevima u obliku čepova uležištenim u vanjskom prstenu (kardanski prsten). Glavine u obliku vilice označene su na slici brojevima 1 i 2, a kardanski prsten brojem 3.



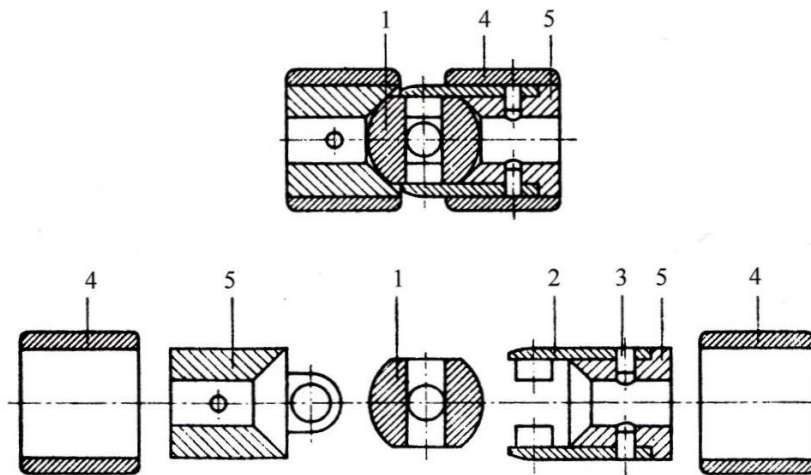
Slika 4.12. Kardanski zglob [1]

Izrađuju se za promjere vratila do 200 mm i kut nagiba im je do 15°. Nedostatak kardanskih zglobova je taj što se u toku jednog okretaja kutna brzina na gonjenoj strani mijenja [1].

4.5.1. Spojka s kuglastim zglobom

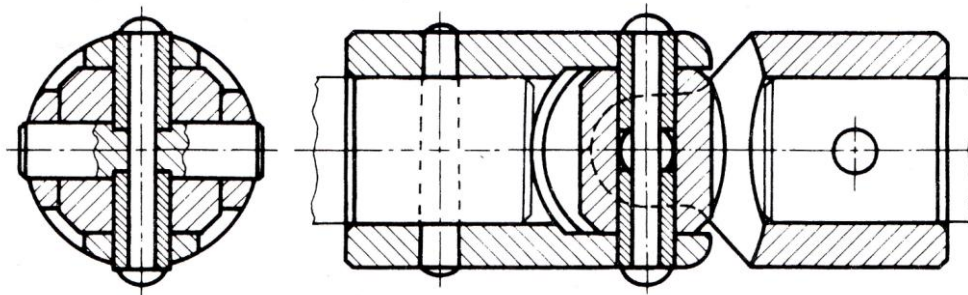
Spojka s kuglastim zglobom služi za prijenos malih okretnih momenata što se vidi iz podataka prikazanih u tablici 4.1., zauzima malo prostora, a često služi i za pogon alata koji mijenjaju svoj položaj. Umjesto kardanskog prstena je kugla koja je na četiri strane zaravnana. U kugli su međusobno okomito izbušena dva provrta u koji ulaze čepovi vilica. Krakovi vilica su osigurani zaticima u prstenu, a preko njih je navučen tuljac. Nagib kod kutnog zgloba može biti 40°. Na slici 4.13. je prikazana spojka s kuglastim zglobom i njezinim dijelovima:

1. kugla,
2. čepovi vilica,
3. zatici,
4. tuljac,
5. prsten.



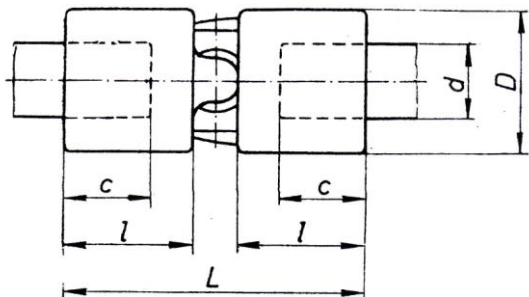
Slika 4.13. Spojka s kuglastim zglobom [1]

Spojka s kuglastim zglobom i ukrštenim svornjacima je prikazana na slici 4.14.



Slika 4.14. Spojka s kuglastim zglobom i ukrštenim svornjacima [1]

Tablica 4.1. Glavne dimenzije spojke s kuglastim zglobom [1]



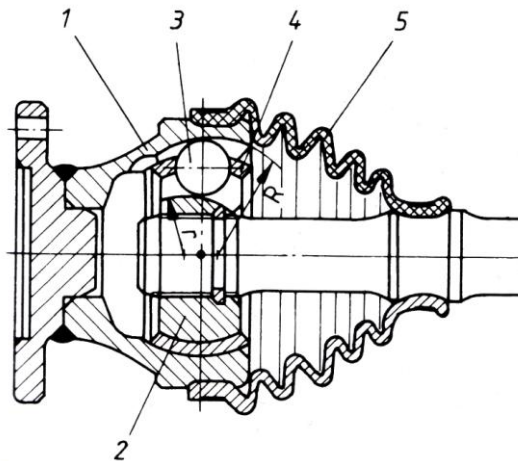
d mm	L mm	c mm	D mm	l mm	Moment T Nm
6	34	9	16	13,5	7,8
8	40	11	18	16	13,5
10	45	12	22	18	23
12	50	13	26	20	35
14	56	16	29	22,5	52
16	65	18	32	26,5	76
18	72	10	37	29	112
20	82	23	42	33	148
22	95	25	47	38,5	200
25	108	29	52	43,5	250
30	122	34	58	49,5	300
35	140	39	70	56	390
40	160	44	80	64	500
50	190	54	90	76	720

4.5.2. Kardanski zglob s kuglicama

Jedna od poznatih izvedbi je kardanski zglob s kuglicama. Vilice na kardanskom zglobu su zamijenjene glavinama s uzdužnim kanalima u koje su umetnute kuglice koje su međusobno povezane kavezom. Naborani gumeni mijeh služi za sprječavanje istjecanja maziva.

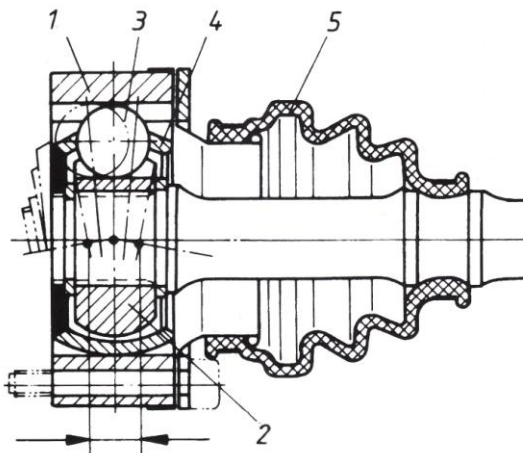
Na slici 4.15. prikazan je kardanski zglob s kuglicom i označenim dijelovima od kojih se sastoji:

1. vanjska glavina,
2. unutarnja glavina,
3. kuglice,
4. kavez,
5. gumeni mijeh.



Slika 4.15. Zglob s kuglicama [1]

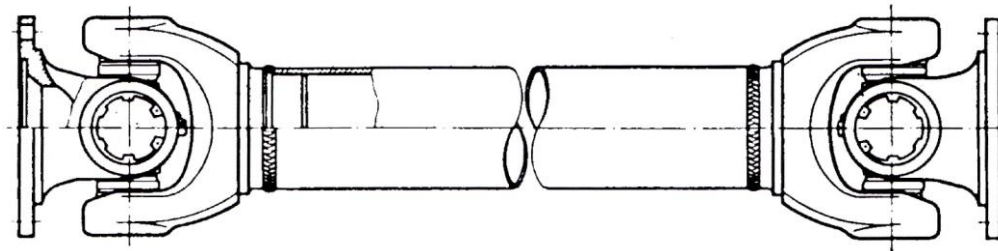
Zglob prikazan na slici 4.16. omogućava i manje uzdužne pomake vratila. Dijelovi na slici 4.16. od kojih se sastoji zglob s kuglicom su označeni isto ko na slici 4.15.



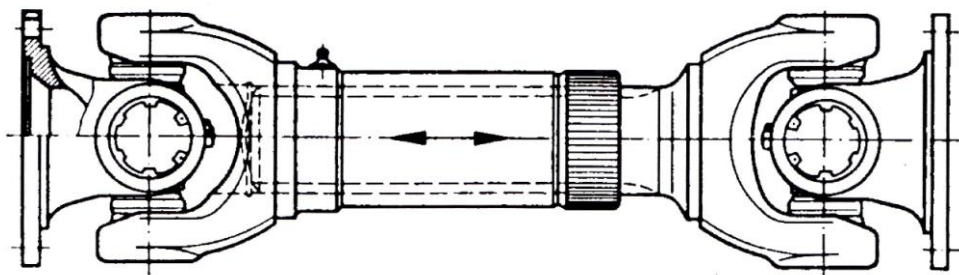
Slika 4.16. Zglob s kuglicama i uzdužnim pomakom [1]

4.6. Kardansko vratilo (kardan)

Kardansko vratilo je složeno iz dva kardanska zgloba i međuvratila, a može kompenzirati kutni ili (i) poprečni pomak. Pogonsko i gonjeno vratilo mogu zatvarati međusobno kut do 30° ili se mogu postaviti na veće poprečne udaljenosti zbog međuvratila. Preduvjet za to je da pogonsko i gonjeno vratilo leže u istoj ravnini, te da su kutovi nagiba α prema međuvratilu jednaki i da oba zgloba imaju isti položaj. Inače bi se nejednolikost brzine kardanskih zglobova udvostručila, a ne uklonila. Na slici 4.17. je prikazano kardansko vratilo, a kardansko vratilo s kompenzacijom uzdužnog pomaka je prikazano na slici 4.18.

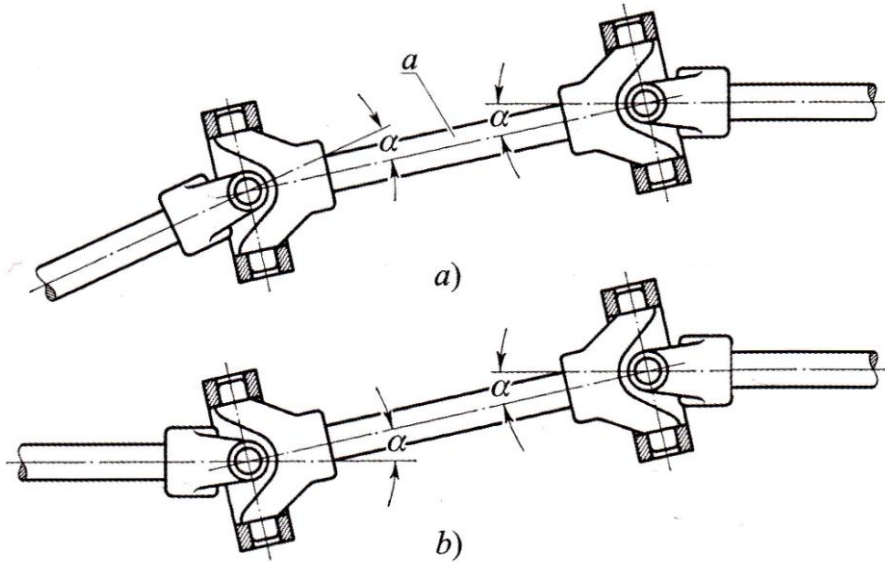


Slika 4.17. Kardansko vratilo [1]



Slika 4.18. Kardansko vratilo s kompenzacijom uzdužnog pomaka [1]

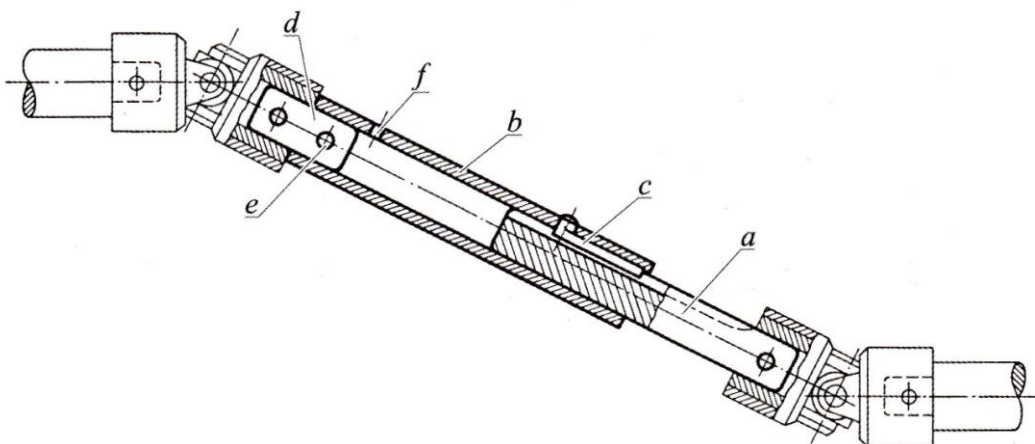
Slika 4.19. prikazuje pravilnu ugradnju kardanskog vratila: *a*) kod kutno pomaknutih vratila i *b*) između poprečno pomaknutih vratila. Sa slovom „*a*“ je označeno međuvratilo.



Slika 4.19. Ugradnja kardanskih zglobova: a) između kutno pomaknutih vratila; b) između poprečno pomaknutih vratila, a – međuvratilo [1]

Ako se udaljenost vratila mora mijenjati tijekom rada, međuvratilu se dodaje teleskopsko vođenje. Teleskopsko vratilo prikazano na slici 4.20. sastoji se od:

- a) zglobna poluga,
- b) zglobni tuljac,
- c) pero s čepom,
- d) spojni dio,
- e) konični zatic,
- f) otvor za zrak.



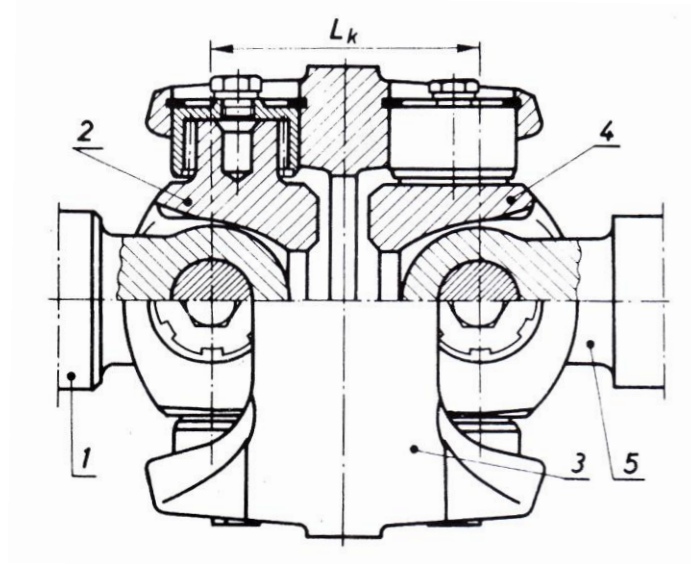
Slika 4.20. Zglobna spojka s teleskopskim vratilom (*Ludwig Loewe & Co., Berlin*) [5]

Poluga s uzdužnim utorom je uložena u tuljac u kojem se nalazi pero s čepom. To omogućuje znatno međusobno pomicanje tuljca i poluge pri djelovanju okretnog momenta [5]. Klizne dijelove zgloba i teleskopa treba obilno podmazivati [5]. Kod većih momenata se teleskopska vodilica sastoji od klinasta vratila i uzdužno pomične klinaste glavine kao tuljca.

4.7. Dvostruka kardanska spojka

Dvostruka kardanska spojka predstavlja kardansko vratilo kojemu je dužina L_k međuvratila svedena na konstrukcijom uvjetovani minimum. U općem slučaju takva spojka je asinkrona (kutna brzina izlaznog vratila se periodički mijenja kod konstantne kutne brzine ulaznog vratila) [1]. Slika 4.21. prikazuje dvostruku asinkronu kardansku spojku s minimalnom dužinom L_k . Dijelovi spojke označeni na slici 4.21. su:

1. ulazno/izlazno vratilo,
2. kardanski zglob,
3. međuvratilo,
4. kardanski zglob,
5. ulazno/izlazno vratilo.

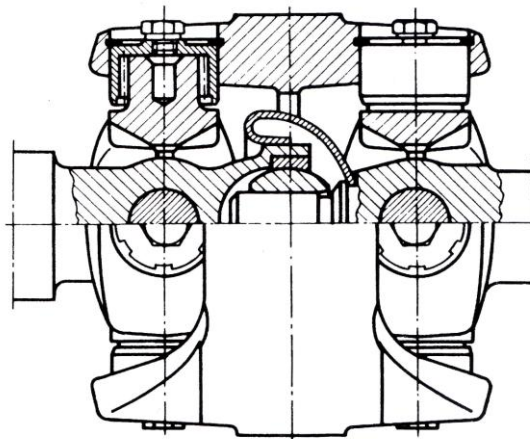


Slika 4.21. Dvostruka asinkrona kardanska spojka [1]

Da bi se postigla sinkrona brzina vrtnje vratila ($\omega_1 = \omega_2$) moraju biti istovremeno zadovoljeni slijedeći uvjeti [1]:

- a) osi zglobova na veznom elementu (međuvratilu) su u istoj ravnini i međusobno paralelne,
- b) osi ulaznog i izlaznog vratila se sijeku (nisu mimosmjerne),
- c) kutovi odstupanja prema simetrali veznog elementa (međuvratila) su jednaki, to jest $\alpha_1 = \alpha_2$.

Prvi uvjet je ostvaren konstrukcijom spojke, a druga dva ovise o uvjetima rada. Najteže se postiže jednakost $\alpha_1 = \alpha_2$, zbog promjenjivosti tih kutova tijekom rada. Konstrukcija sinkronih dvostrukih kardanskih zglobova sadrži sklop za centriranje u obliku sfernog, sfernocilindričnog ili sfernostožastog para koji trajno osiguravaju druga dva uvjeta. Ispunjenje uvjeta sinkronosti (b) i c)) postignuto je ugradnjom kuglastocilindričnog zgloba kod dvostruke sinkrone kardanske spojke prikazane slikom 4.22.



Slika 4.22. Dvostruka sinkrona kardanska spojka [1]

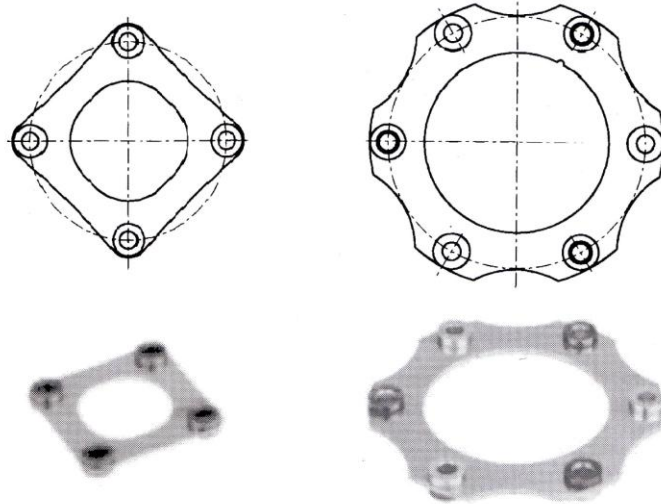
4.8. Kompenzacijske spojke s čeličnim lamelama

Kompenzacijske spojke s čeličnim lamelama omogućavaju kutne pomake, uzdužne i radijalne pomake. Pomaci su popraćeni malim silama reakcije jer prilikom pomaka nastaju elastične deformacije lamele. Torzijska krutost im je velika. Mogu biti idealna zamjena za zupčaste spojke s lučnim zubima. Primjenjuju se u robotici, kod ventilatora, generatora, mlinova, mašina za pakiranje itd.

Postoji više vrsti kompenzacijskih spojki s čeličnim lamelama. Prema obliku glavine razlikujemo spojke bez prirubnica i s prirubicama, a prema broju lamela razlikujemo jednolamelne i

dvolamelne spojke. Dvolamelne spojke imaju međuelement koji može biti ploča, odstožnik ili međuvratilo.

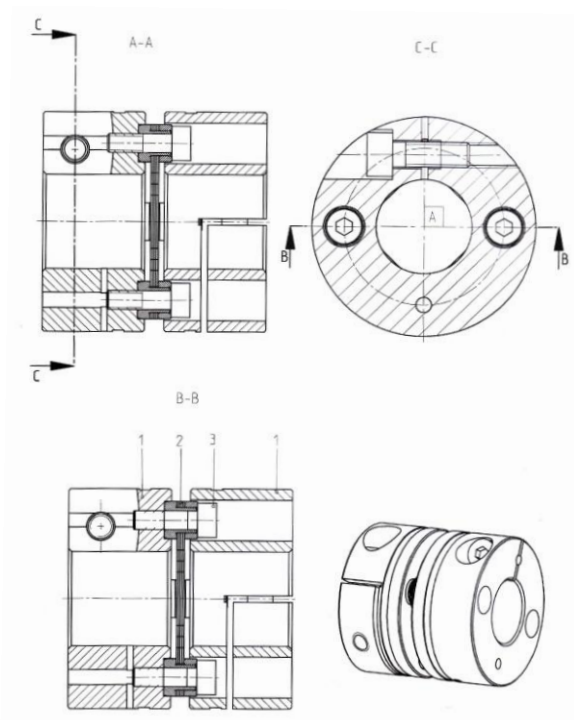
Slika 4.23. prikazuje lamelu za manje spojke s četiri provrta i lamelu za veće spojke sa šest provrta. Glavine su povezane s vijcima sa svakim drugim provrtom na lameli.



Slika 4.23. Lamele s četiri i šest provrta [1]

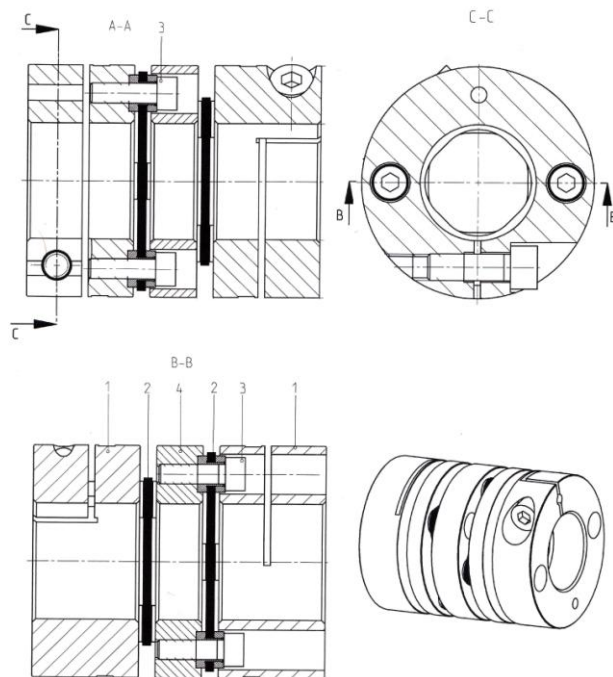
Spojka s glavinama bez prirubnice prikazana na slici 4.24. ima jednu lamelu i sastoji se od:

1. dvije glavine,
2. lamele,
3. vijaka za povezivanje glavine s lamelom.



Slika 4.24. Jednolamelna kompenzacijska spojka [1]

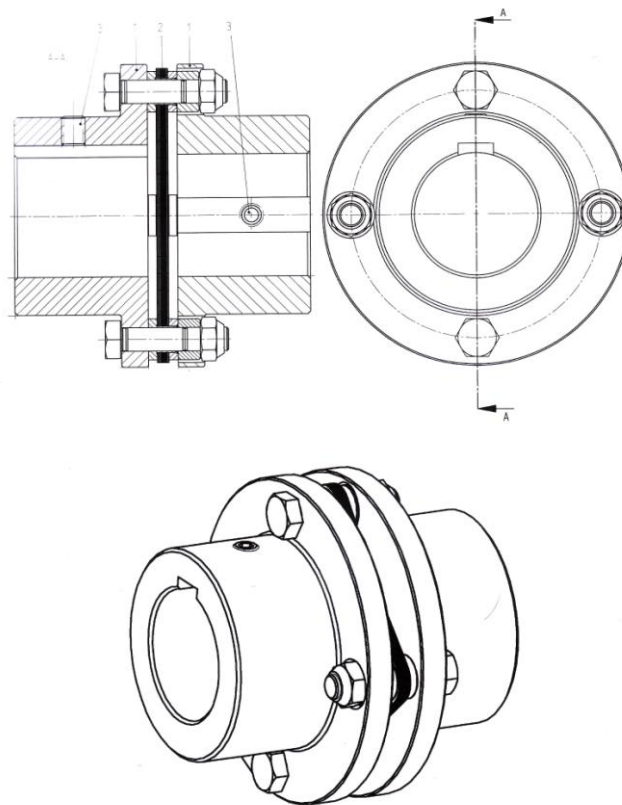
Slika 4.25. prikazuje dvolamelnu spojku s glavinama bez prirubnica. Kod spojki s dvije lamele prisutan je još i međuelement označen brojem 4 na slici. Glavine bez prirubnice često se učvršćuju na vratilo stezanjem vijka koji povezuje dva razrezana dijela glavine [1].



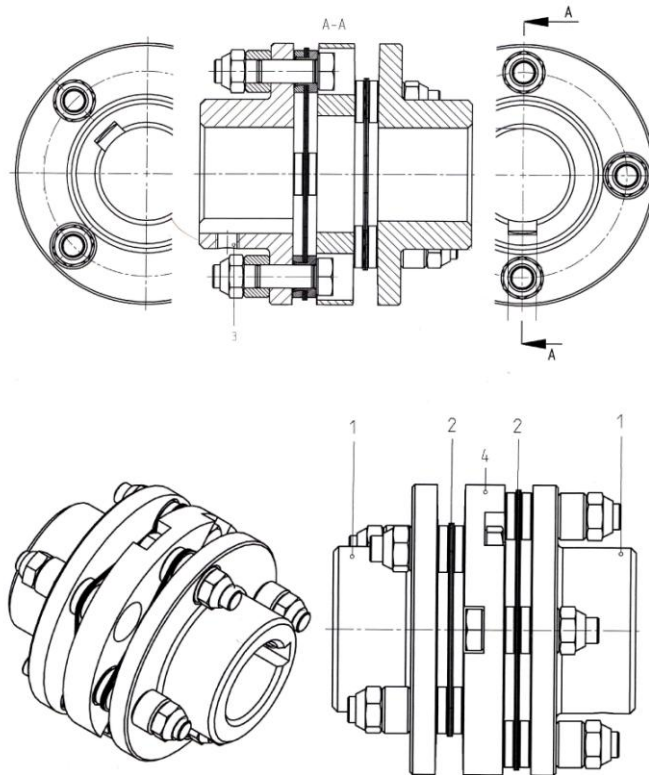
Slika 4.25. Dvolamelna kompenzacijska spojka [1]

Kod spojki s prirubnicama je sve isto kao i kod spojki bez prirubnica, jedina razlika je to što spojke s prirubnicama imaju prirubnice. Slika 4.26. prikazuje jednolamelnu spojku, a slika 4.27 dvolamelnu spojku. Dijelovi označeni na slikama 4.26 i 4.27:

1. glavina,
2. lamela,
3. vijak za učvršćivanje glavine na vratilo,
4. međuelement (kod dvolamelne spojke).

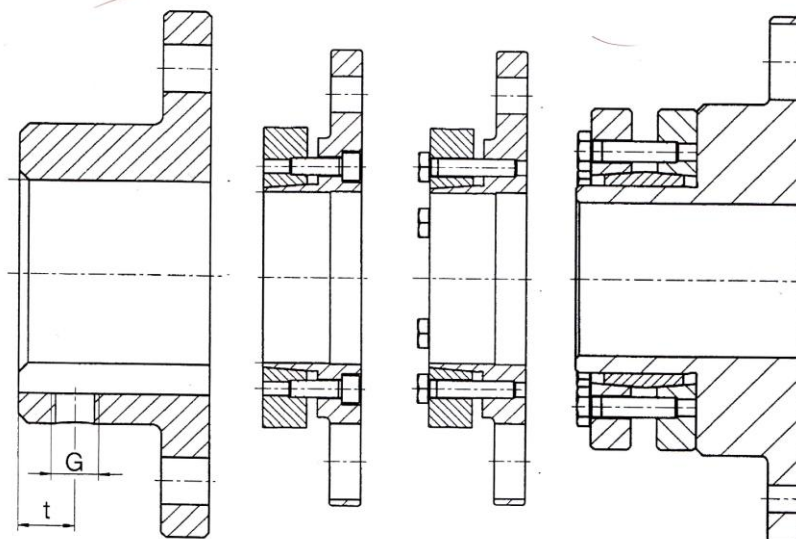


Slika 4.26. Jednolamelna kompenzacijska spojka s prirubnicom [1]



Slika 4.27. Dvolamelna kompenzacijska spojka s prirubnicom [1]

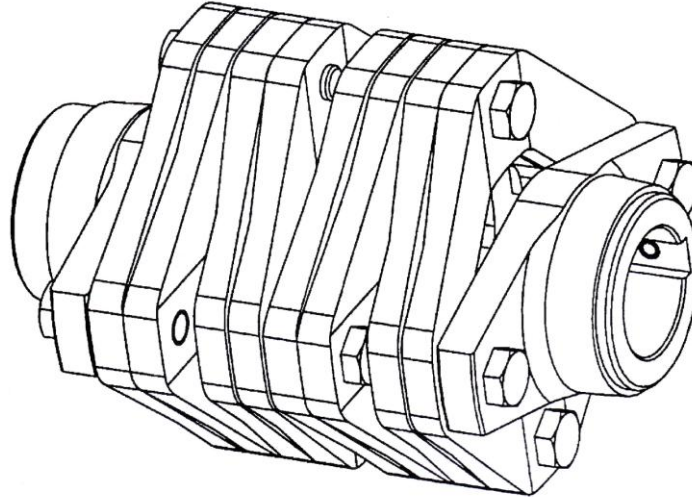
Za spajanje vratila i glavine najčešće se koriste glavine s utorom za uložno pero, te se često učvršćuju na vratilo primjenom vijka koji pritišće pero. Mogu se koristiti i glavine sa stožastim prstenom. Slika 4.28. prikazuje različite načine spajanja glavine s vratilom.



Slika 4.28. Različiti načini spajanja glavine s vratilom [1]

4.9. Kompenzacijske spojke s gumenim lamelama

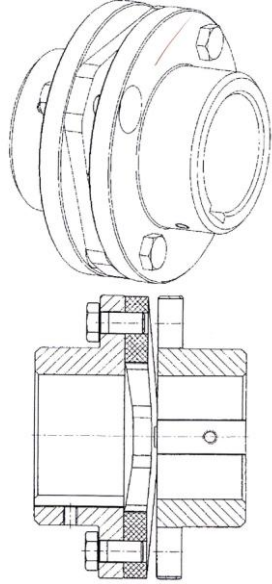
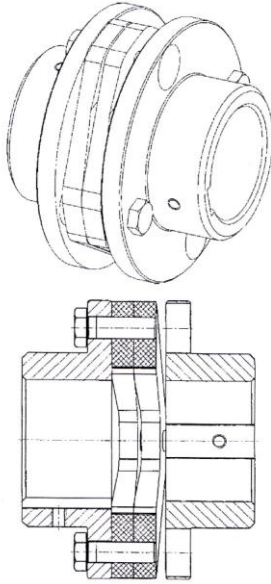
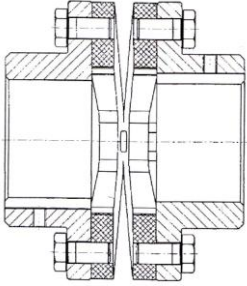
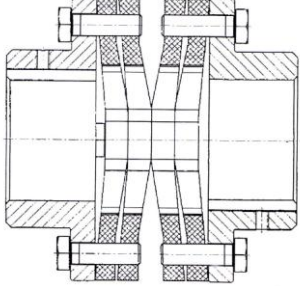
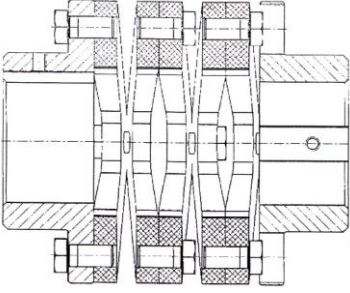
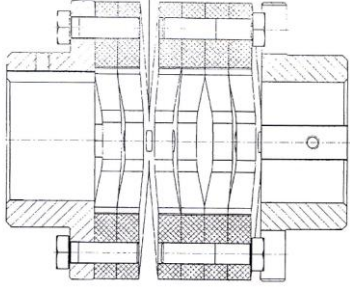
Kompenzacijske spojke s gumenim lamelama prikazana na slici 4.29. omogućavaju kutne pomake, uzdužne i radijalne pomake u većem iznosu nego kompenzacijske spojke s čeličnim lamelama, ali imaju manju torzijsku krutost nego spojke s čeličnim lamelama.



Slika 4.29. Kompenzacijska spojka s gumenim lamelama [1]

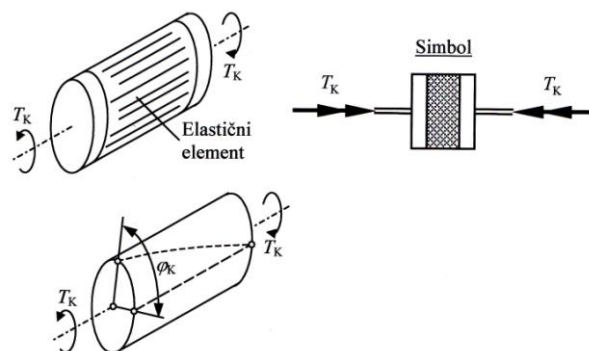
Postoji više izvedbi kompenzacijskih spojki s gumenim lamelama. Izvedbe su prikazane u tablici 4.2. Razlikujemo standardnu i pojačanu konstrukciju. Kod pojačane konstrukcije se lamele ugrađuju po dvije u paru, čime se povećava nosivost i krutost spojke. Lamele se izrađuju od gume, odnosno plastičnih masa. Glavine spojke su uglavnom jednake glavinama koje se koriste kod spojki s čeličnim lamelama.

Tablica 4.2. Kompenzacijske spojke s gumenim lamelama [1]

Standardna konstrukcija	Pojačana konstrukcija
	
	
	

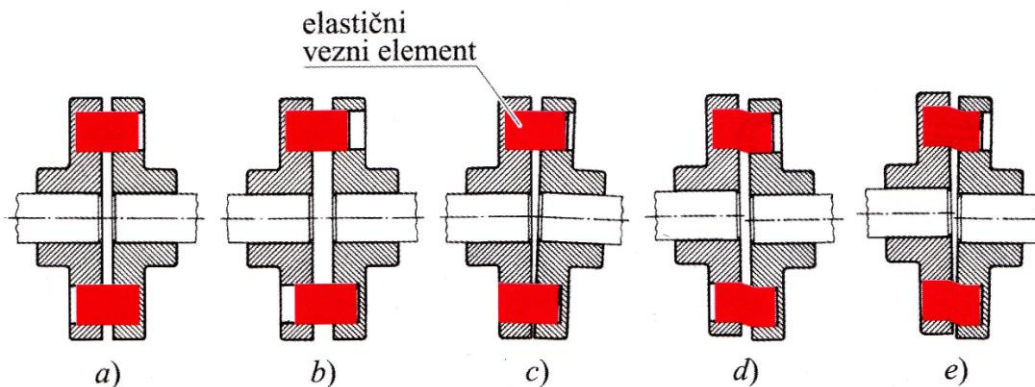
5. ELASTIČNE SPOJKE

Elastične spojke imaju zadatak kompenzirati razlike međusobnog položaja osi vratila, koja mogu nastati netočnošću montaže, spuštanjem temelja, tolerancijama izrade i sl. Elastične spojke imaju torzijsku elastičnost. Svrha im je prigušenje vibracija smanjivanjem oscilacija momenta torzije, te smanjivanje udarnih opterećenja nastalih naglom promjenom brzine rada stroja. Elastične spojke se sastoje od dvije glavine koje mogu biti povezane elastičnim elementima od gume, umjetnih masa, tekstila, čelika za opruge i sl. Simbol elastične spojke, oznake momenta i kuta zakretanja prikazane su na slici 5.1.



Slika 5.1. Oznake momenta i kuta zakretanja, te simbol elastične spojke [1]

Razlike međusobnog položaja vratila spojenih elastičnom spojkom prikazuje slika 5.2.



Slika 5.2. Razlike pogreške međusobnog položaja vratila s pomoću spojki
a) male razlike položaja; b) uzdužne razlike položaja; c) kutne razlike položaja;
d) poprečne razlike položaja; e) poprečne i kutne razlike položaja [5]

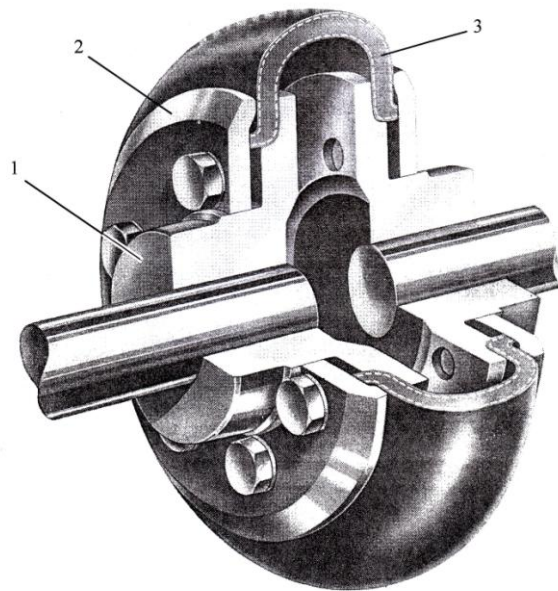
Nedostatak većine elastičnih spojki su sile s kojima elastična spojka djeluje na spojene elemente nastojeći ih poravnati ili spriječiti njihove pomake [1]. Te sile izazivaju poprečno, a ponekad i znatno uzdužno opterećenje vratila i ležajeva [1].

5.1. Elastične spojke s pojasom

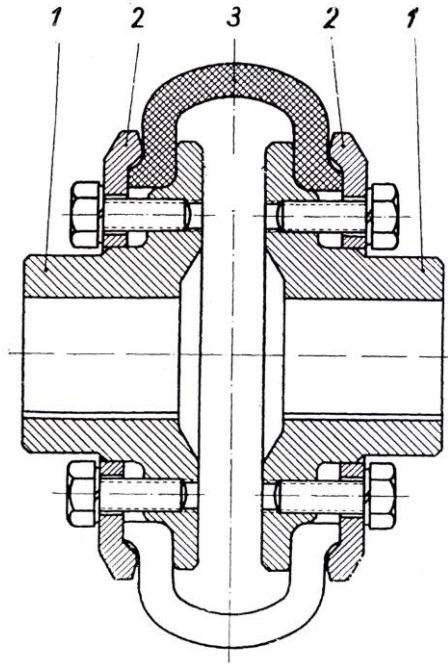
Elastične spojke se najčešće izvode tako da su dvije prirubnice spojene nekim elastičnim elementom poput uložaka od gume, elastomera, metalnih opruga i sl. Postoji više izvedbi elastičnih spojki s pojasom, a jedna od izvedbi koja se naziva Periflex – spojka je prikazana na slici 5.3. i 5.4.

Spojka se sastoji od:

1. glavina s prirubnicom,
2. steznih prstenova,
3. gumenog pojasa.



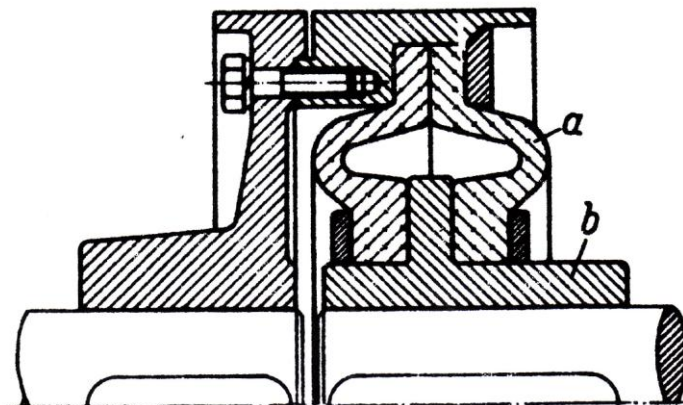
Slika 5.3. Izgled Periflex – spojke [1]



Slika 5.4. Periflex – spojka [1]

Gumeni pojas može biti s tekstilnim ulošcima ili ulošcima od čeličnog pletiva. Spojka je vrlo elastična i rabi se za jaka prigušenja. Omogućava radijalne pomake do 4 mm, aksijalne pomake do 8 mm, kutne pomake do 4° i torzijski kut do 30° [3].

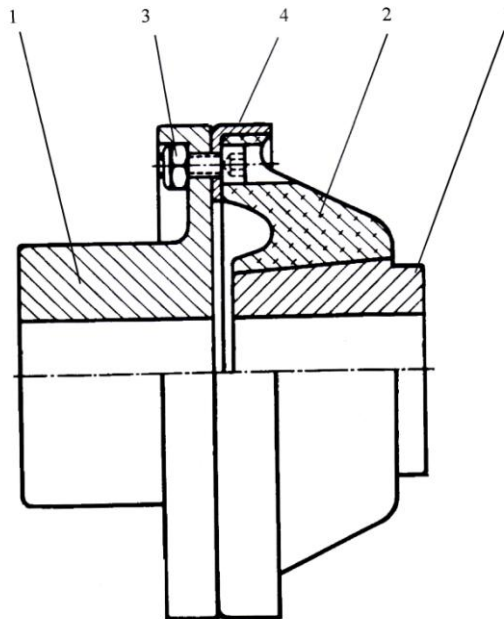
Kod elastične spojke gumeni pojas može biti dvodijelan. To je slučaj kod spojke Vulkan koja je prikazana na slici 5.5. Vezni element (označen slovom *a* na slici) je dvodijelni gumeni obruč. Obodi obruča leže na prirubnici unutarnje polovine spojke (označeno slovom *b* na slici), relativno blizu jedan drugome, tako da se pri djelovanju okretnog momenta ne stvaraju velike povratne sile.



Slika 5.5. Spojka „Vulkan“ [1]

Spojka s gumenim stožastim ulošcima prikazana na slici 5.6. također spada u skupinu spojki s gumenim pojasom. Dijelovi spojke označeni na slici 5.6. su:

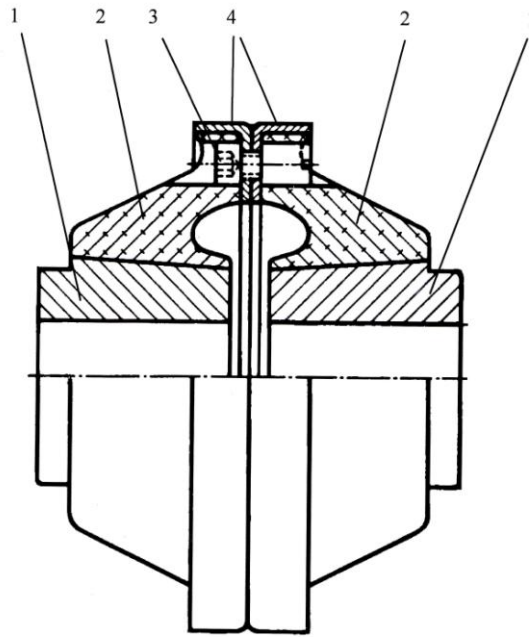
1. glavina,
2. gumeni uložak,
3. vijak,
4. limeni oklop.



Slika 5.6. Asimetrična elastična spojka s gumenim stožastim ulošcima [1]

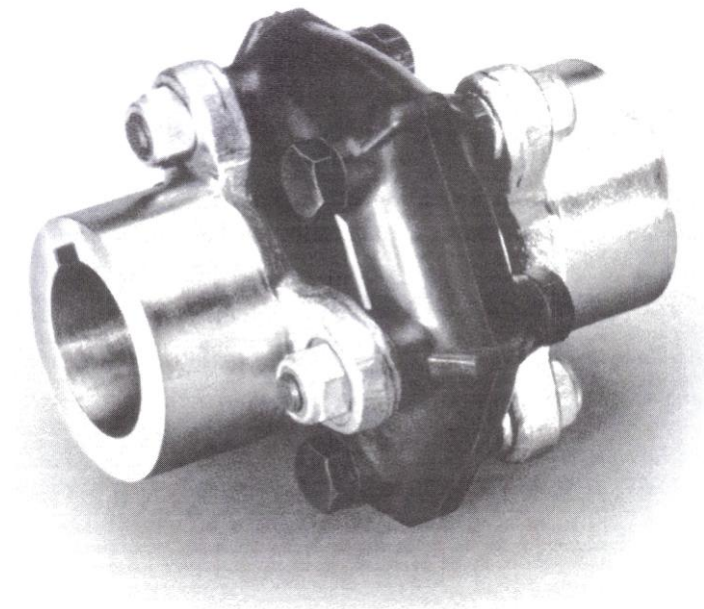
Spojka je slična spojci Vulkan, a umjesto gumenog pojasa ima gumeni stožasti uložak vulkaniziran direktno na glavini. Slika 5.7. prikazuje simetričnu spojku s gumenim stožastim ulošcima. Obje polovine spojke su jednake i svaka ima vlastiti elastični element. Torzijska krutost ove spojke u pola manja od torzijske krutosti asimetrične spojke s jednim gumenim stožastim uloškom. Dijelovi spojke označeni na slici 5.7. su:

1. glavina,
2. gumeni uložak,
3. vijak,
4. limeni oklop.



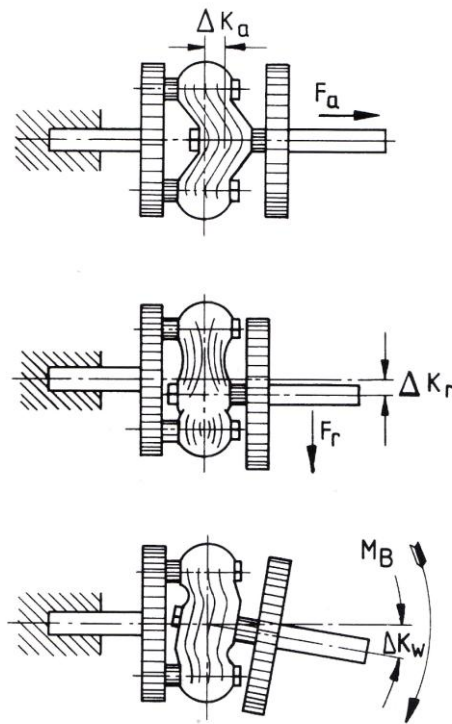
Slika 5.7. Simetrična elastična spojka s gumenim stožastim ulošcima [1]

Vratilo može biti direktno učvršćeno na gumeni pojas kao kod spojke tvrtke Ortlinghaus prikazane na slici 5.8. Direktnim učvršćivanjem vratila na gumeni pojas povećana je podatljivost spojke, koja može preuzeti značajne uzdužne, poprečne i kutne pomake.



Slika 5.8. Elastična spojka s gumenim pojasom tvrtke Ortlinghaus [1]

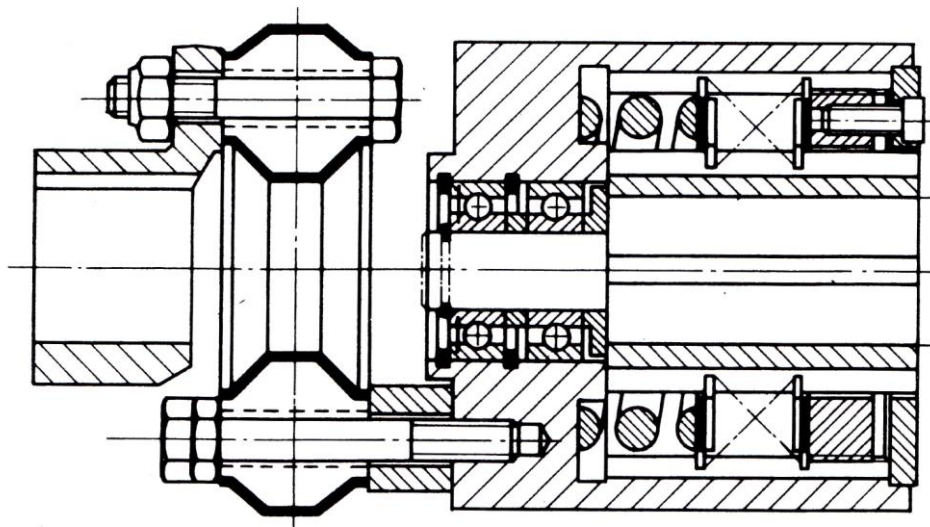
Slika 5.9. prikazuje uzdužni, poprečni i kutni pomak spojke s gumenim pojasom.



Slika 5.9. Uzdužni, poprečni i kutni pomaci elastične spojke s gumenim pojasom [1]

Vrlo je velik i faktor prigušenja. Jednostavnost konstrukcije glavine omogućava da se umjesto glavine na gumeni pojas postavi neki drugi element, npr. sigurnosna spojka što se može vidjeti na slici 5.10.

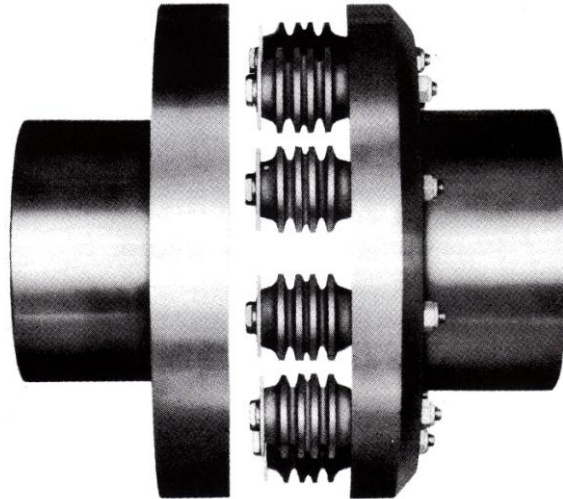
Gumeno – elastične spojke izrađuju se za okretne momente do 30000 Nm i prednost im je moguća brza izmjena istrošenih veznih elemenata [5].



Slika 5.10. Povezivanje elastične spojke sa sigurnosnom spojkom [1]

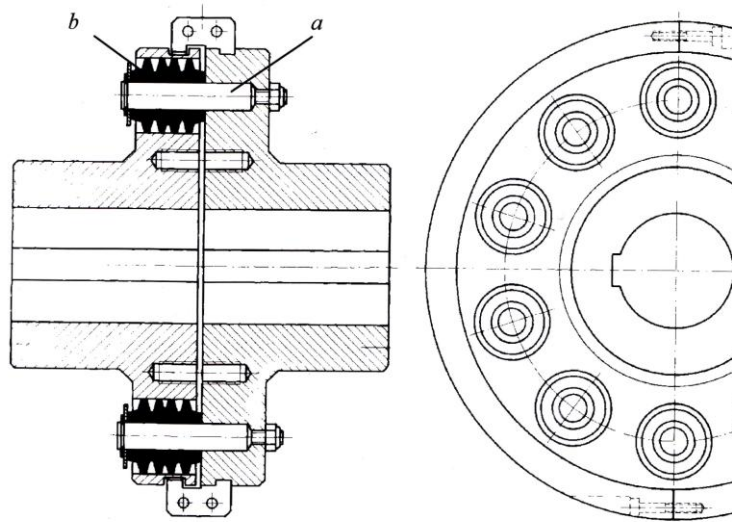
5.2. Elastične spojke s valjkastim ulošcima

Elastična spojka s valjkastim ulošcima prikazana je na slici 5.11.



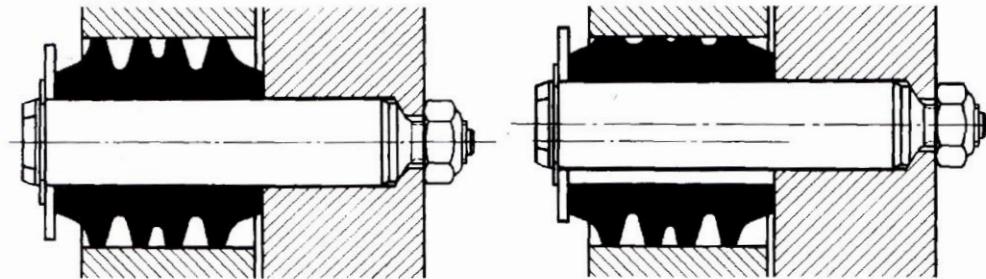
Slika 5.11. Izgled elastične spojke s valjkastim ulošcima [1]

Na slici 5.12. prikazana je elastična spojka s valjkastim ulošcima koja se sastoji od dvije glavine s prirubnicama, a vezni element čine svornjaci (označeni slovom *a* na slici) i na svornjake nataknuti gumeni valjci (označeni slovom *b* na slici) koji se djelovanjem momenta torzije radijalno deformiraju.



Slika 5.12. Elastična spojka s valjkastim ulošcima [3]

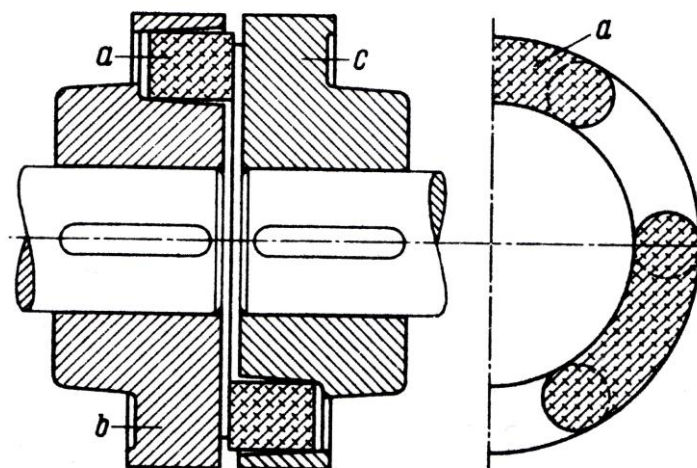
Zbog njene velike elastičnosti može se računati s gotovo ravnomjernom podjelom sile na elastične uloške. Spojka ima progresivnu karakteristiku i djeluje prigušno. Izrađuje se za momente torzije do 540000 Nm [1]. Slika 5.13. prikazuje oblik uložka i njegovu deformaciju.



Slika 5.13. Primjer deformacije uložaka [1]

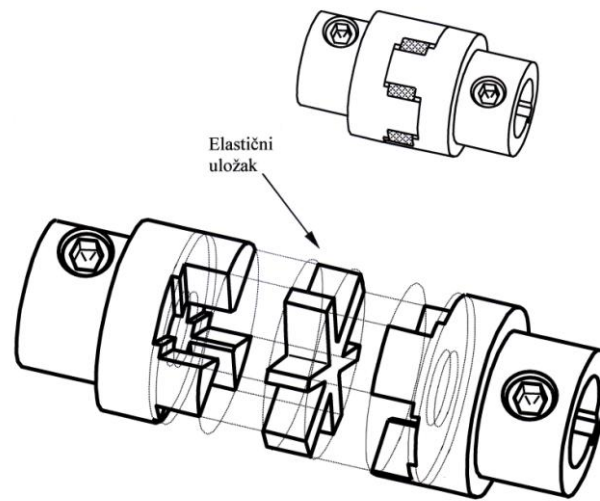
5.3. Elastične kandžaste spojke

Elastične kandžaste spojke mogu biti izvedene na dva načina: kao spojke s gumenim kandžama ili kao spojke s metalnim kandžama i gumeni ulošcima. Spojka s gumenim kandžama prikazana na slici 5.14. ima vezne elemente oblikovane kao gumene kandže (označeno slovom *a* na slici), koje naizmjenice ulaze u udubine glavina spojke (označeno slovima *b* i *c*) stvarajući tako vezu oblikom. Deformacija veznih elemenata je veoma velika, karakteristika spojke je progresivna. Zbog jednostavne konstrukcije i montaže spojka je pouzdan strojni element. Izrađuje se za momente torzije do 400 Nm, te su dopušteni relativno veliki uzdužni pomaci.



Slika 5.13. elastična kandžasta spojka s gumenim kandžama [1]

Elastična kandžasta spojka s elastičnim uloškom imaju dvije jednake glavine s metalnim kandžama između kojih se umeće uložak od gume ili sličnog materijala, to je prikazano slikom 5.14.



Slika 5.14. Kandžasta spojka s elastičnim uloškom [1]

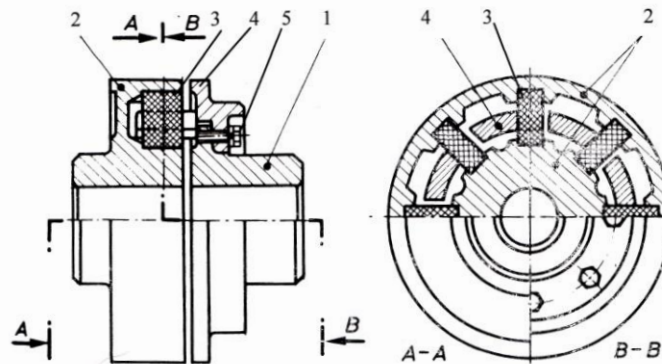
Na slici 5.15. su prikazane različite veličine kandžaste spojke s gumenim uloškom.



Slika 5.15. Kandžaste spojke različitih dimenzija [1]

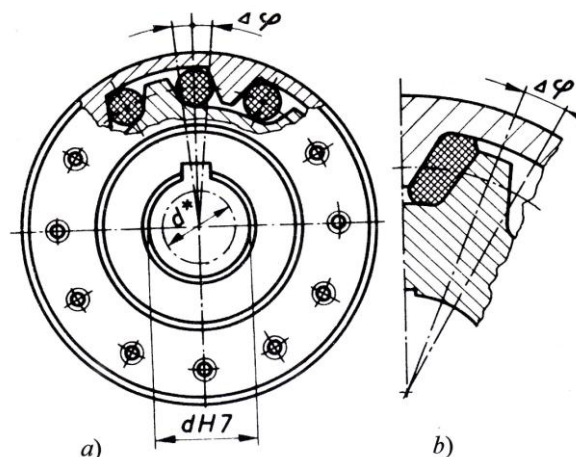
U kandžaste spojke se mogu ubrojati i spojke s pravokutnim gumenim ulošcima i gumenim valjcima. Na slici 5.16. je prikazana kandžasta spojka s pravokutnim gumenim ulošcima. Sastoji se od jednodijelne ili dvodijelne glavine (broj 1 na slici), dvodijelna glavina ima dodatni vijenac (broj 4 na slici) koji se učvršćuje vijcima (označeno brojem 5 na slici), s kandžama koje ulaze u

odgovarajuća gnijezda nasuprotne jednodijelne glavine (označeno brojem 2 na slici). Gnijezda tvore zrakasto raspoređeni ulošci od gume (broj 3 na slici) utisnuti u žljebove na glavini. Dvodijelna konstrukcija glavine omogućava zamjenu elastičnih uložaka bez poprečnih pomaka glavine [1].



Slika 5.16. Kandžaste spojka s pravokutnim gumenim ulošcima [1]

Spojka s gumenim valjcima se sastoji od glavine s vanjskim ozubljenjem koja je uvučena u glavinu s unutarnjim ozubljenjem i gumenih valjaka razmjerno velike dužine i maloga promjera postavljenih između zubaca. Prenošenjem momenta torzije valjci su opterećeni na pritisak. Torzijska krutost raste s kutom uvijanja i kada deformirani valjci popune prostor između zubaca torzijska krutost dostiže najveću vrijednost koja se ne mijenja s daljnjim porastom momenta. Najveća prednost ove spojke u odnosu na druge elastične spojke je da za istu nosivost ima znatno manji promjer, jednostavni oblik elastičnih elemenata i njihovu jednostavnu zamjenu. Spojka s gumenim valjcima pod opterećenjem i kada je spojka neopterećena prikazana je na slici 5.17.



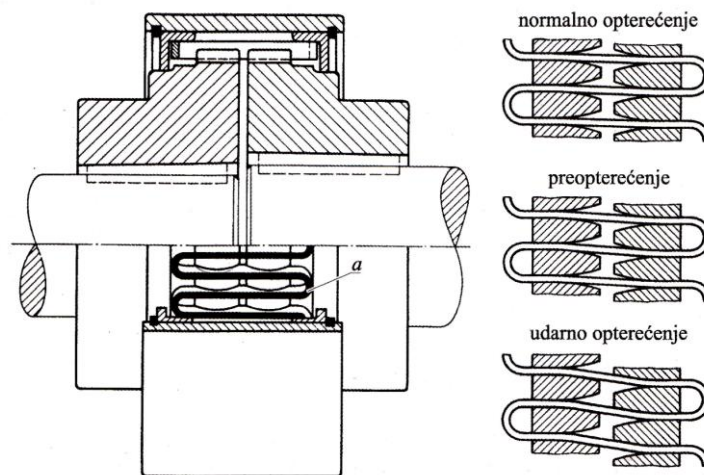
Slika 5.17. Spojka s gumenim valjcima; a) neopterećena, b) opterećena [1]

5.4. Spojke s metalnim elastičnim elementima

U skupini spojki s metalnim elastičnim elementima najznačajnije su spojke s vijugavom opružnom trakom (Bibby – spojka) i spojke sa zavojnim cilindričnim oprugama. Ostale spojke s metalnim elastičnim elementima su: Voith – Maurerova spojka, spojka Axien, Bennova spojka.

5.4.1. Spojka s vijugavom opružnom trakom (Bibby - spojka)

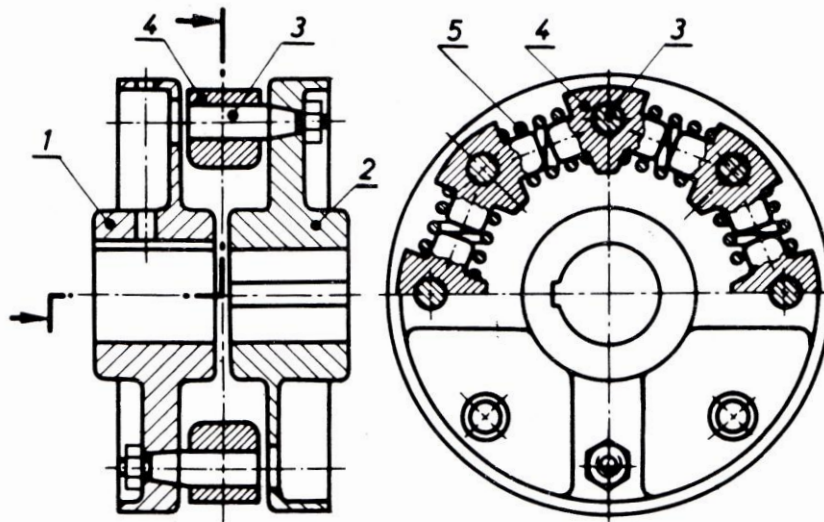
Bibby – spojka je spojka s vijugavim opružnim trakama i izrađuje se za okretne momente od 20 do 100000 Nm. Sastoji se od dviju jednakih glavina s ozubljenjem, kroz uzubine prolazi vijugava metalna traka. Karakteristika opruge je progresivna. Povećavanjem opterećenja mijenja se i hvatište obodne sile. Jače opterećena opruga naliježe sve više na bok profila zuba. Time se skraćuje krak slobodnog dijela opruge, spojka radi tvrđe. Kut zakretanja iznosi do $1,2^\circ$, kutni pomak do $1,3^\circ$, uzdužni pomak 4 do 20 mm, a poprečni pomak 0,5 do 3 mm, ovisno o veličini spojke. Mogućnost prigušivanja udara je mala [3]. Na slici 5.18. je prikazana Bibby – spojka i prikaz savijanja opruge kod normalnog opterećenja, preopterećenja i udarnog opterećenja, slovom *a* je označena opruga.



Slika 5.18. Bibby – spojka [5]

5.4.2. Spojka sa zavojnim cilindričnim oprugama

Spojka sa zavojnim cilindričnim oprugama prikazana slikom 5.19. sastoji se od dvaju jednakih glavina (označene brojevima 1 i 2 na slici), koje imaju jednako raspoređene provrte na periferiji oboda u koje su usađeni svornjaci (broj 3 na slici). Na svornjacima su postavljene vodilice (na slici označene brojem 4) opruga (broj 5 na slici). Vodilice su povezane naizmjenično s glavinama, tako da je svaka opruga navučena s jednim krajem na vodilicu u prvoj glavini, a s drugim krajem na vodilicu u drugoj glavini.

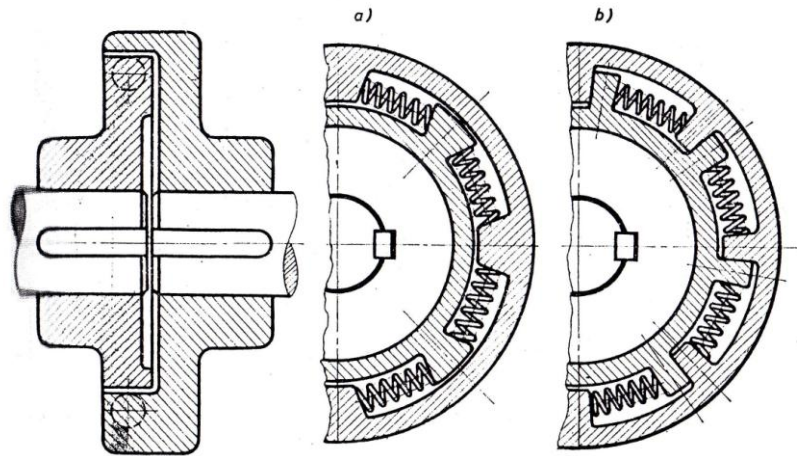


Slika 5.19. Spojka sa zavojnim cilindričnim oprugama [1]

Spojka ima zanemarivu sposobnost prigušivanja. Opruge su ugrađene s prednaponom, pa mogu prenositi moment torzije u oba smjera. Ovisno o vrsti opruge koja se ugradi u spojku ovisi i karakteristika same spojke. Ako je karakteristika opruge linearna, tada je i karakteristika spojke linearna, a ako je karakteristika opruge progresivna, tada će i spojka imati progresivnu karakteristiku. Sabijanje opruga do dodirivanja svih navoja je izbjegnuto s dovoljno dugačkim krajevima vodilica koje se pri velikom opterećenju naslanjaju jedan na drugi.

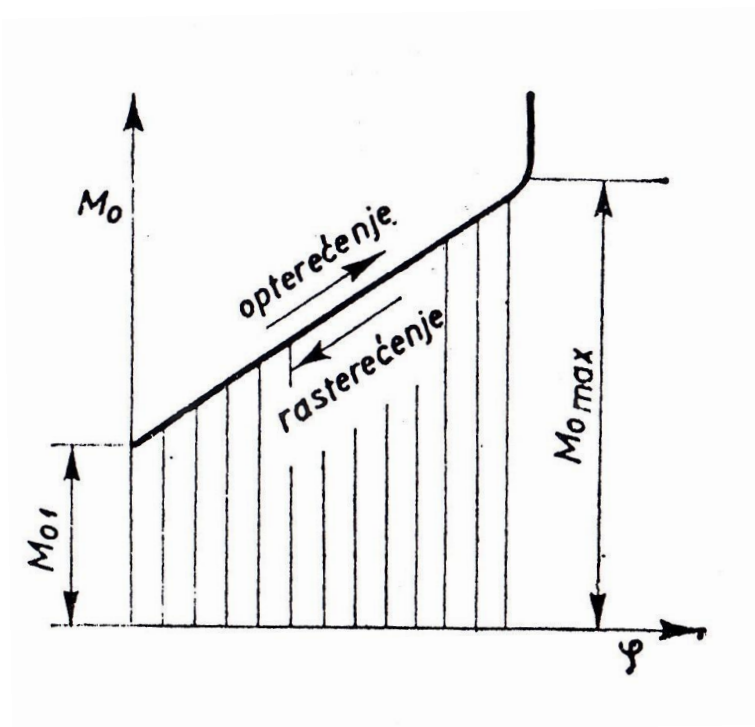
Bennova spojka prikazana na slici 5.20. se sastoji od dva ozubljena kola sa širokim ozubinama, između zubi su ubačene prednapregnute zavojne torzijske tlačne opruge. Izvode se u dvije konstrukcijske izvedbe. Prva izvedba je prikazana na slici 5.20. a) i ta izvedba daje ravnu karakteristiku, a druga izvedba spojke prikazana na slici 5.20. b) ima karakteristiku koja nema svoj početak u točki 0 koordinatnog sistema. Pri niskim okretnim momentima neće doći do

zakretanja φ radi prednapona opruga. Kada okretni moment dosegne vrijednost M_{01} , počinju se polovine spojki međusobno zakretati. Kada se prekorači maksimalni okretni moment, zavoji spojke se sabiju jedan do drugog, pa spojka radi kao neelastična.



Slika 5.20. Bennova spojka [4]

Karakteristika prikazana slikom 5.21. je karakteristika druge izvedbe Bennove spojke koja nema svoj početak u točki 0 koordinatnog sustava.

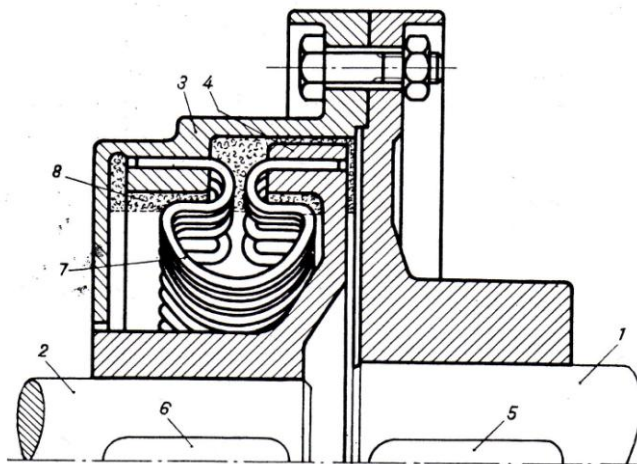


Slika 5.21. Karakteristika Bennove spojke [4]

5.4.3. Voith – Maurerova spojka

Voith – Maurerova spojka predviđena je za okretne momente od 150 do 120000 Nm i onda kada su promjene okretnog momenta velike, a i u pogonima s udarnim opterećenjima. Spojke omogućavaju zakretanje do $2,5^\circ$, kutni pomak do $1,5^\circ$, radijalni pomak 0,6 do 1,6 mm, a aksijalni pomak do 2 mm. Spojka se mora puniti gustim mazivom [6]. Slika 5.22. prikazuje Voith – Maurerovu spojku i na slici je označeno:

1. pogonsko vratilo,
2. gonjeno vratilo,
3. pogonski dio spojke,
4. gonjeni dio spojke,
5. klin,
6. klin,
7. torzijske opruge,
8. prostor za mast.

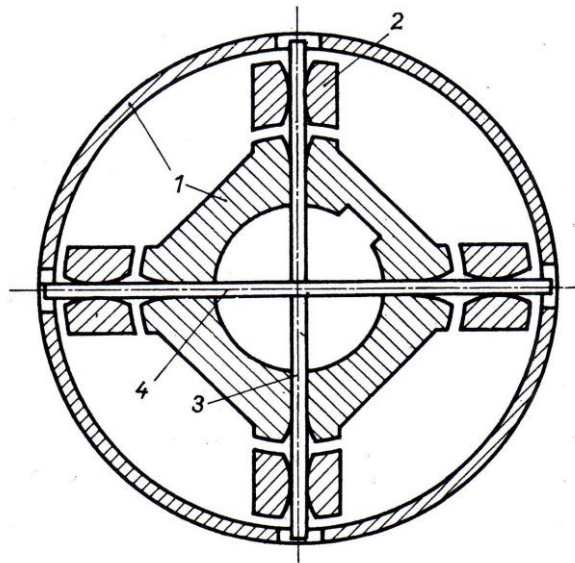


Slika 5.22. Voith – Maurerova spojka [6]

Polovine spojke su povezane međusobno s elastičnim prstenom koji se sastoji od brojnih pojedinačnih torzijskih opruga u obliku slova Ω (omega). Krajevi tih opruga uloženi su u provrte kako bi se dobio spoj između pogonskog i gonjenog dijela spojke.

5.4.4. Spojka Axien

Spojka Axien prikazana slikom 5.23. prenosi okretni moment pomoću lisnatih opruga uloženi u križ između zakrivljenih površina. Kod povećanja opterećenja opruge sve više naliježu na zakrivljene plohe, te time se skraćuje krak savijanja opruge, što daje spojci progresivnu karakteristiku. Trenje koje se pojavljuje među listovima opruga čini stanovito prigušno djelovanje [6]. Da bi se smanjilo trenje, ove spojke se podmazuju gustim mazivom [6]. Spojke Axien mogu prenositi momente vrtnje 15 do 20000 Nm, te mogućnost zakretanja je do 2° , kutni pomak je do 1° , aksijalne pomake od 3 do 9 mm i radijalne pomake 0,5 do 2 mm [6].



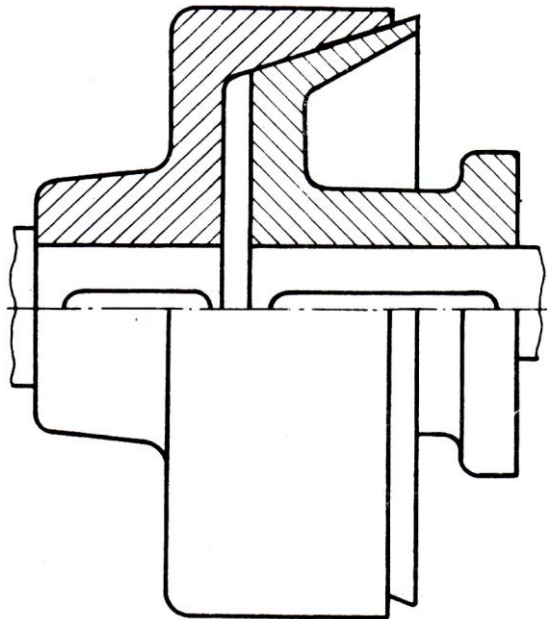
Slika 5.23. Spojka Axien: 1 vodeći dio, 2 vođeni dio, 3 i 4 lisnate opruge [6]

6. TARNE SPOJKE

Tarne spojke okretni moment prenose trenjem. Koriste se kao uključno – isključne spojke za povremeno uključivanje radnog stroja u pogon. Uključivanje tarnih spojki može biti mehaničko, hidrauličko, pneumatsko i elektromagnetsko.

6.1. Stožasta tarna spojka

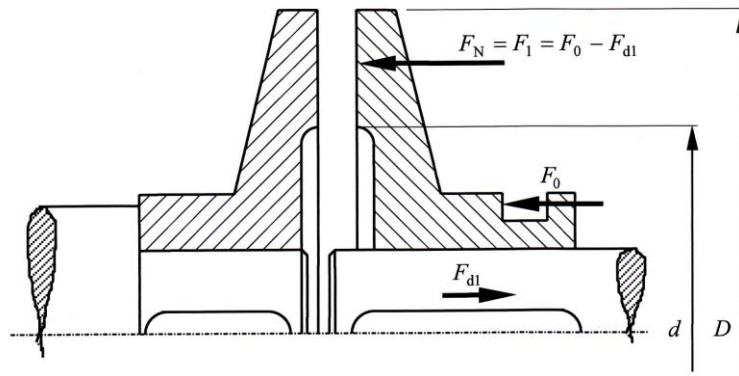
Stožasta tarna spojka prikazana na slici 6.1. ima tarne površine u obliku stošca. Pogonski dio je čvrsto spojen klinom s vratilom, a potrebno aksijalno pomicanje gonjenog dijela kod uključivanja, odnosno isključivanja, omogućeno je spojem s vratilom pomoću užlijebljenih dosjednih površina. Moment torzije se prenosi trenjem između jednog para stožastih površina. Stožasta tarna spojka češće se primjenjuje u odnosu na jednolamelnu tarnu spojku.



Slika 6.1. Stožasta tarna spojka s jednim parom tarnih površina [1]

6.2. Pločasta tarna spojka

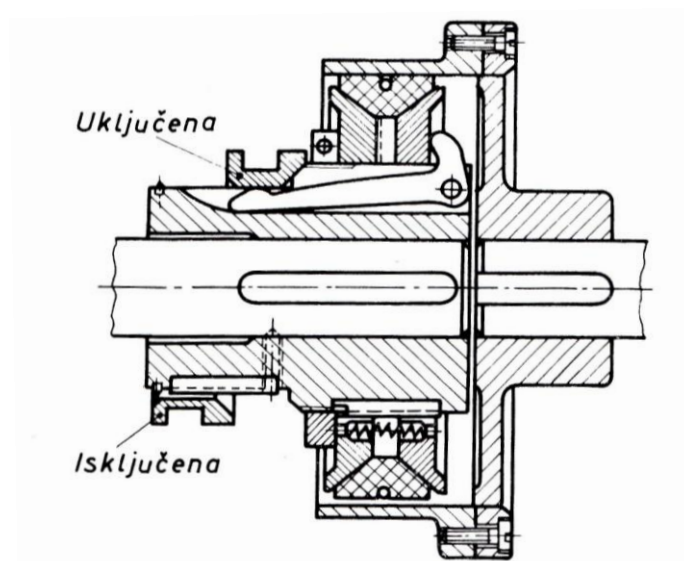
Pločasta tarna spojka je slična stožastoj tarnoj spojci. Umjesto stožastih tarnih površina ima dvije ploče koje prenose moment torzije. Slika 6.2 prikazuje pločastu tarnu spojku.



Slika 6.2. Pločasta tarna spojka [1]

6.3. Radijalna tarna spojka

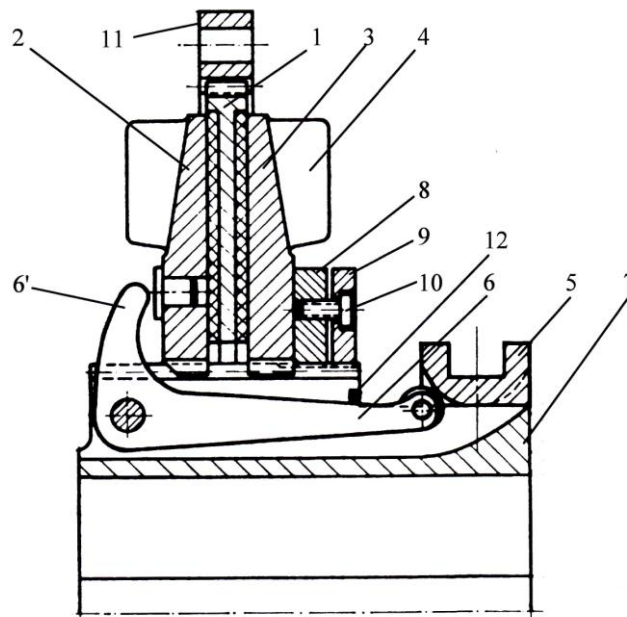
Radijalna tarna spojka moment prenosi trenjem između elastičnog prstena i bubnja. Dvije stožaste ploče služe za stvaranje potrebnog pritiska između elastičnog prstena i bubnja. Prednost ove spojke u odnosu na stožastu i pločastu je to što se mehanizam za uključivanje ili isključivanje spojke okreće zajedno s jednim vratilom, što pojednostavljuje konstrukciju spojke. Na slici 6.3. je prikazana radijalna tarna spojka.



Slika 6.3. Radijalna tarna spojka [1]

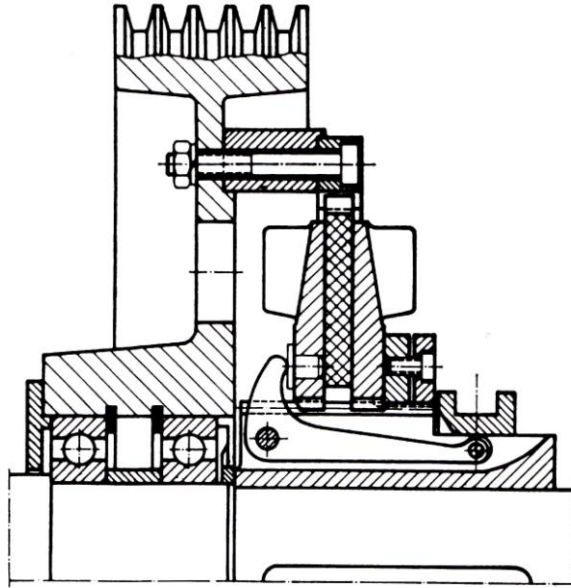
6.4. Tarna spojka s jednom lamelom

Tarna spojka s jednom lamelom prikazana slikom 6.4. sastoji se od dijelova označenih na slici: 1 lamela, 2 i 3 tarne ploče, 4 rebra za hlađenje tarne ploče, 5 prsten za uključivanje, 6 poluga (obično ih ima 3), 7 glavina, 8 odrivna ploča, 9 dodatna ploča, 10 vijak, 11 vanjski prsten i 12 granični prsten za polugu.



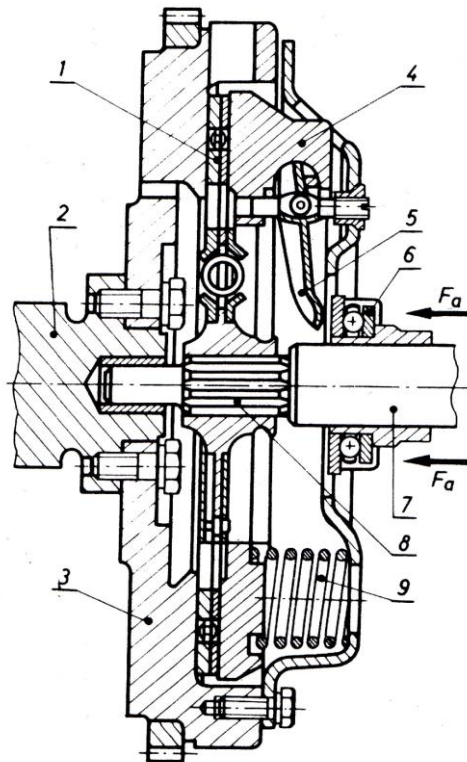
Slika 6.4. Jednolamelna tarne spojka [1]

Prilikom uključivanja spojke prsten za uključivanje potiskuje poluge u utor glavine, a drugi kraj poluge pritišće pomičnu tarne ploču na lamelu i drugu tarne ploču koja se oslanja na odrivnu ploču. Odrivna ploča na unutarnjem provrtu ima navoj kojim je spojena na glavinu, a odvijanje je spriječeno dodatnom pločom i vijkom. Takva konstrukcija omogućava lako podešavanje razmaka između kraja poluge i odrivne ploče, te se regulira željeni pritisak na lamelu koji nastaje pri uključivanju spojke. Lamela je spojena s vanjskim prstenom preko uzdužnog ozubljenja ili utora koji dopuštaju njihovo aksijalno pomicanje. Na isti način su spojene i tarne ploče s glavinom. Na vanjski prsten se direktno može spojiti remenica, zamašnjak, elastična spojka ili neki drugi element stroja. Slika 6.5. prikazuje jednolamelnu tarne spojku povezanu s remenicom.



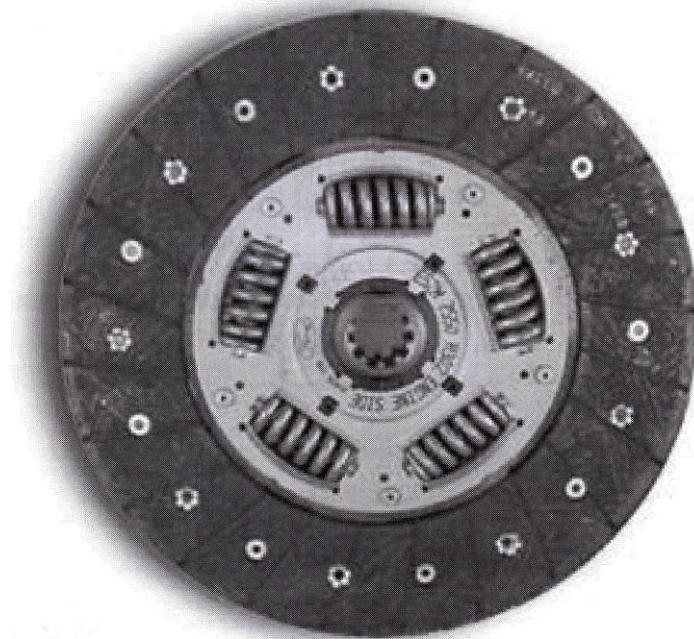
Slika 6.5. Jednolamelna tarva spojka povezana s remenicom [1]

Slika 6.6 prikazuje jednolamelnu tarvu spojku koja se ugrađuje u automobile i dijelove od kojih se sastoji. Potisna sila ostvarena je oprugama, a razdvajanje vratila ostvareno je pritiskom noge na polugu. Pokretnu lamelu (broj 1 na slici) vezanu za gonjeno vratilo (broj 7) utornim spojem (broj 8 na slici). Pogonsko vratilo (broj 2 na slici) je povezano s diskom (broj 3). Diskovi (brojevi 3 i 4 na slici) pritišću lamelu silom opruga (broj 9) koje su raspoređene po obodu diska (broj 4), zbog toga je spojka stalno uključena i može prenositi moment torzije. razdvajanje spojenih vratila postiže se djelovanjem aksijalne sile na potisni ležaj (broj 6 na slici), preko poluge (označeno brojem 5 na slici) koja odvaja disk (broj 4) od lamele. Potisna sila ostvarena je oprugama, a razdvajanje vratila ostvareno je pritiskom noge na polugu.



Slika 6.6. Jednolamelna tarva spojka s pritiskom ostvarenim oprugama [1]

Standardna lamela prikazana na slici 6.7. ima ugrađene opruge, pa je spojka i elastična.



Slika 6.7. Standardna lamela spojke automobila [1]

7. ELEKTROMAGNETSKE SPOJKE

Elektromagnetske spojke pogoni istosmjerna struja koja se dobiva iz mreže izmjenične ili trofazne struje i ispravlja pomoću selenskih ili silicijskih ispravljača. Uobičajeni naponi kod jednopovršinske ili dvopovršinske spojke su 60, 110 ili 230 V, a za lamelne spojke 24 V [5].

7.1. Elektromagnetske tarne spojke

Elektromagnetske tarne spojke služe za spajanje pogonskog i gonjenog vratila u točno određenom trenutku. Električna struja pri prolasku kroz zavojnicu elektromagneta proizvede magnetski tok koji stvara silu potrebnu za privlačenje mirujuće kotve i rotirajućeg vijenca. U trenutku spajanja dolazi do kratkog proklizavanja, a time i mekanog upuštanja u rad. Na sličan princip rade i elektromagnetske tarne kočnice. Elektromagnetske kočnice služe za višestruko skraćivanje vremena zaustavljanja rotirajućih masa te njihovog zadržavanja u tom položaju. Kombinacijom elektromagnetske spojke i kočnice postizemo kontroliran rad izvršnog elementa stroja. Dovod struje do elektromagneta može biti izveden putem fiksnih vodova ako elektromagnet ne rotira ili putem kliznih prstenova ako elektromagnet rotira zajedno s glavinom spojke. Elektromagnetske spojke i kočnice mogu biti:

- jednolamelne i
- višelamelne.

Tablica 7.1. prikazuje usporedbu tipičnih jednolamelnih i višelamelnih elektromagnetskih tarnih spojki i kočnica. Razlika u konstrukciji je što kod kočnica jedna tarna površina jednolamelne kočnice ili jedna glavina višelamelne kočnice uvijek izvedena zajedno s elektromagnetom i čvrsto povezana s kućištem u koji je kočnica ugrađena [1]. Elektromagnetske spojke i kočnice primjenjujemo kod raznih taktnih i isprekidanih pogona, u mjenjačima, reduktorima, elektromotorima i sl.

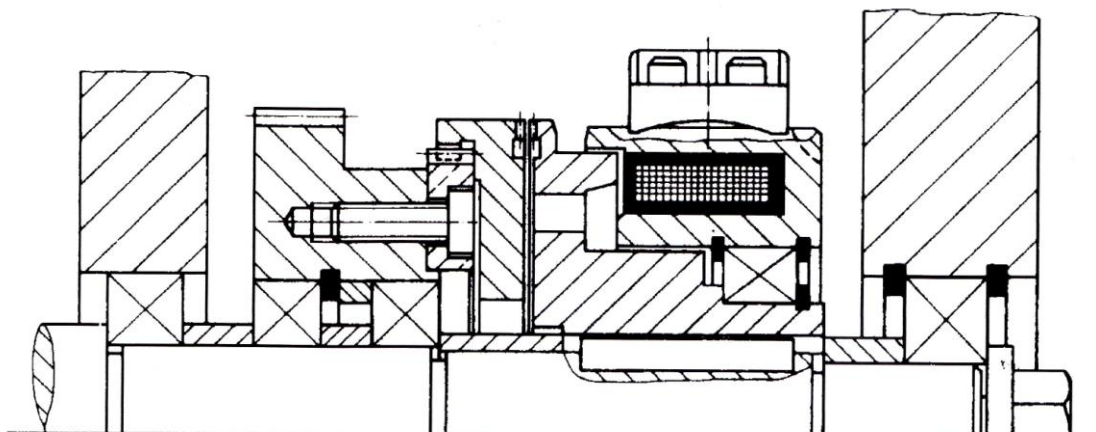
Tablica 7.1. Usporedba jednolamelnih i višelamelnih elektromagnetskih tarnih spojki i kočnica [1]

	Spojke	Kočnice
Izvedba s jednom lamelom		
Izvedba s više lamela		

7.1.1. Jednolamelne elektromagnetske tarne spojke

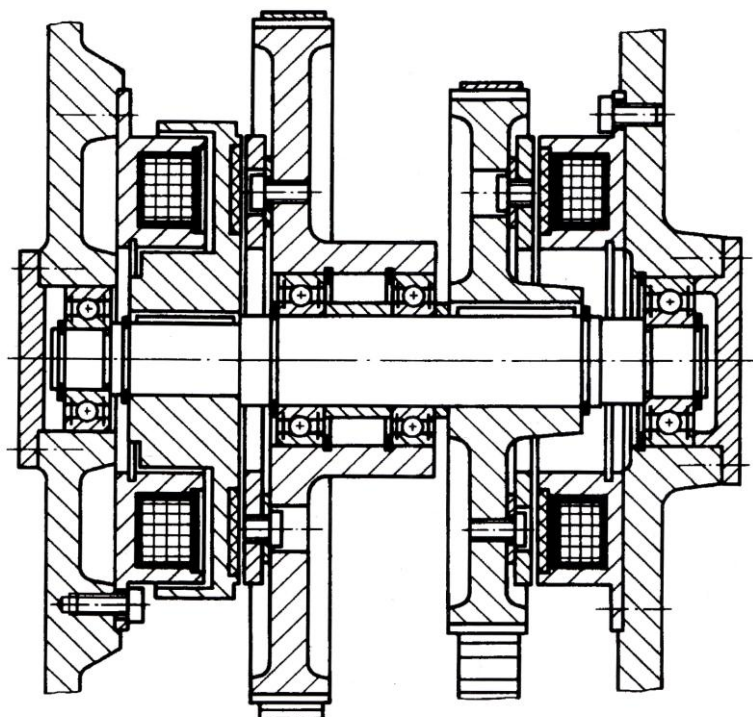
Jednolamelne elektromagnetske tarne spojke se sastoje od tarne ploče s oblogom koja je izvedena kao zasebni element. Prilikom uključivanja struje lamelu i tarnu ploču privlači elektromagnet, te između tarnih ploča nastaje sila trenja. Kod jednolamelnih elektromagnetskih tarnih kočnica ulogu tarne ploče preuzima tijelo elektromagneta na koji je postavljena tarne obloga. Postoji izvedba jednolamelne kočnice s oprugama. Opruge stvaraju silu između tarnih površina pa na njima postoji trenje kada struja ne prolazi elektromagnetom [1]. Uključivanjem elektromagneta privlači se tarne ploča koja stisne opruge i oslobađa lamelu. Primjena takvih kočnica se koristi u sustavima gdje je nužno da se prilikom nepredviđenog nestanka struje

automatski zakoči pogon stroja (npr. kod liftova). Na slici 7.1. je prikazana spojka koja uključivanjem elektromagneta privlači lamelu te spaja vratilo sa zupčanikom.



Slika 7.1. Elektromagnetska tarva spojka koja spaja zupčanik s vratilom [1]

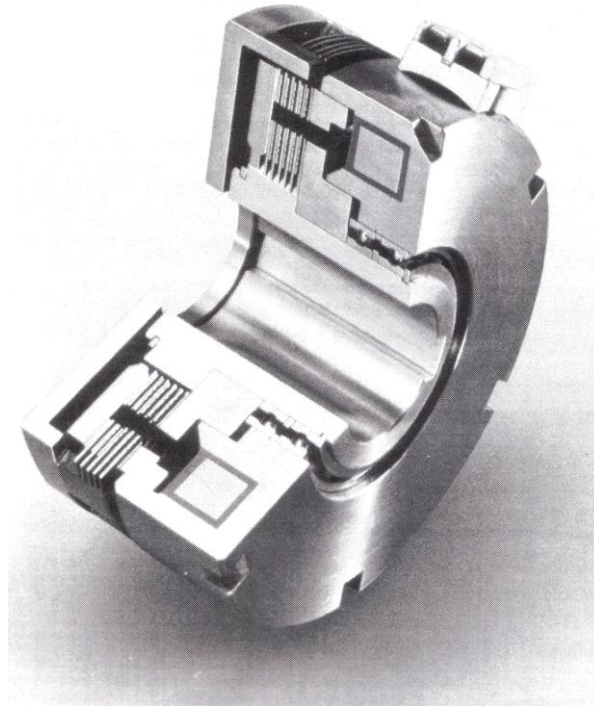
Slika 7.2. prikazuje na lijevoj strani postavljenu jednolamelnu elektromagnetsku tarvu spojku, a na desnoj strani jednolamelnu elektromagnetsku tarvu kočnicu.



Slika 7.2. Primjena elektromagnetske tarve spojke i kočnice [1]

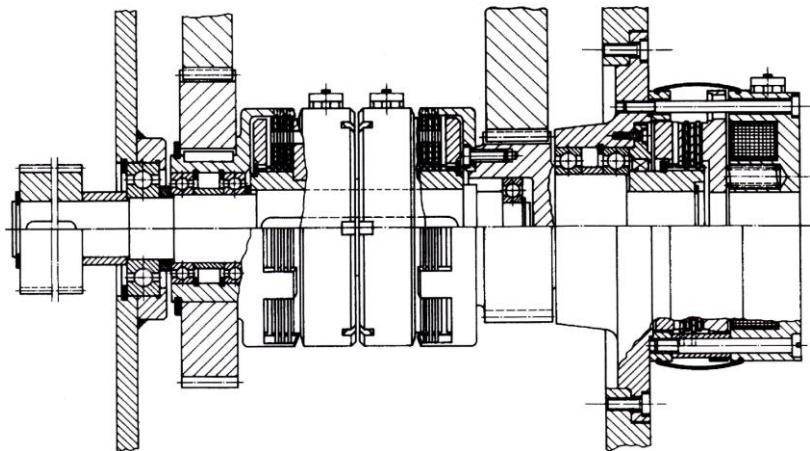
7.1.2. Višelamelne elektromagnetske tarne spojke

Presjek višelamelne elektromagnetske tarne spojke prikazan je na slici 7.3.



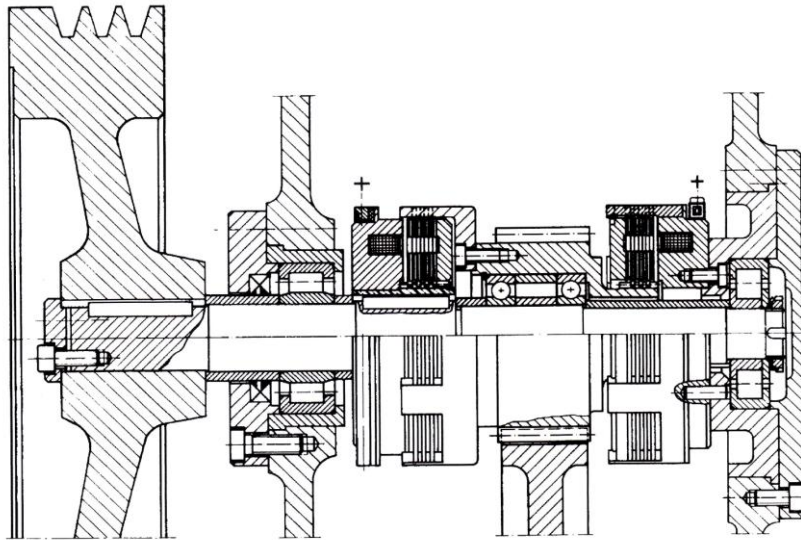
Slika 7.3. Elektromagnetska višelamelna tarne spojka [1]

Izvedba dvostruke elektromagnetske tarne spojke i elektromagnetske kočnice s oprugama prikazana je slikom 7.4. Elektromagneti tarne spojke su pričvršćeni na kućište, napajaju se pomoću fiksnih električnih vodova, te kada kroz elektromagnete prolazi električna struja spajaju se tarne ploče i prenosi se okretni moment. Elektromagnetska kočnica s oprugama koči ako u njen elektromagnet nije dovedena električna struja.



Slika 7.4. Dvostruka elektromagnetska tarne spojka i kočnica [1]

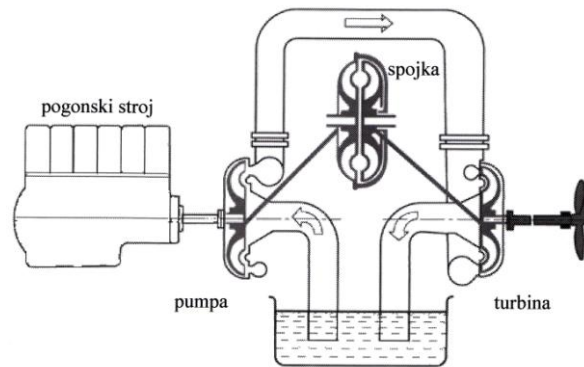
Slika 7.5. prikazuje izvedbu elektromagnetske tarne spojke s elektromagnetom koji rotira zajedno s glavinom i elektromagnetske tarne kočnice. Struja se dovodi preko kliznog koluta i zajedničke mase. Spojka spaja zupčanik s vratilom na kojem se nalazi remenica, a kočnica koči zupčanik kada se u elektromagnet kočnice dovede električna struja.



Slika 7.5. Elektromagnetska tarne spojka i kočnica [1]

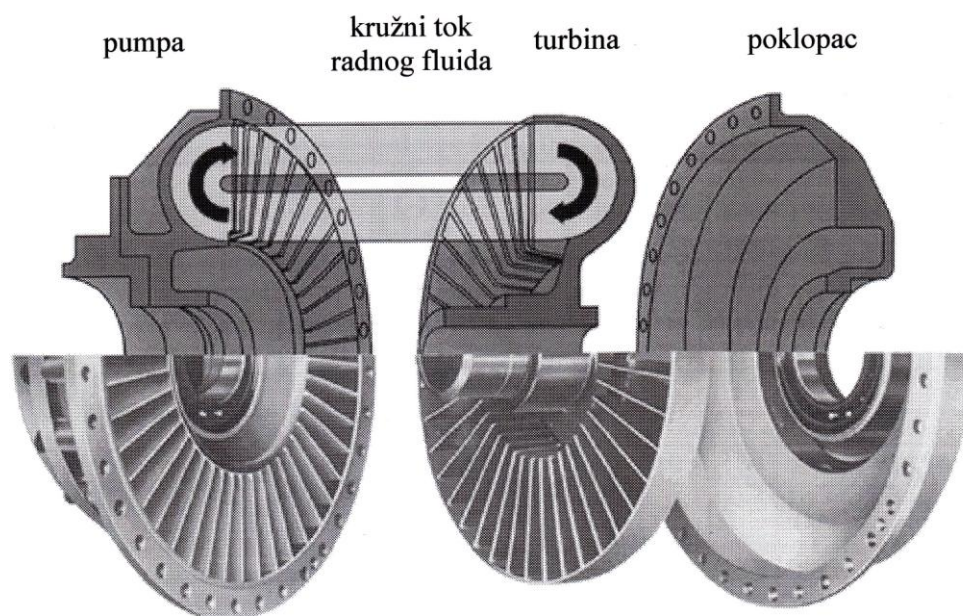
8. HIDRODINAMIČKE SPOJKE

Hidrodinamičke spojke je izumio dr. Hermann Föttinger. Spojka radi na principu uzajamnog djelovanja pumpe i turbine smještene u istom kućištu. Slika 8.1. prikazuje zamjenu pumpe i turbine hidrodinamičkom spojkom.



Slika 8.1. Zamjena pumpe i turbine hidrodinamičkom spojkom [1]

Glavni dijelovi hidrodinamičke spojke su dva kola s lopaticama postavljena jedno prema drugom u kućištu. Osnovni dijelovi hidrodinamičke spojke se mogu vidjeti na slici 8.2.

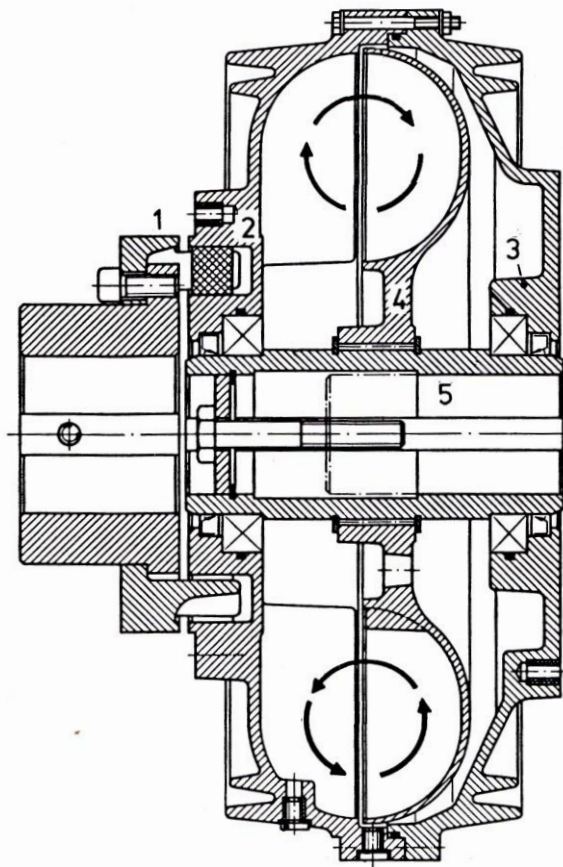


Slika 8.2. Osnovni dijelovi hidrodinamičke spojke [1]

Pogonsko kolo (kolo pumpe) je povezano s pogonskim strojem, a kolo turbine s gonjenim strojem. Zajedno s kućištem kola tvore radnu komoru u kojoj struji radni fluid koji je najčešće mineralno ulje. Glavni zadatak radnog fluida je prenošenje kinetičke energije unutar zatvorenog

kružnog toka između pogonskog i gonjenog kola. Moment pogonskog stroja se prenosi na radni stroj kružnim strujanjem fluida u komorama koje čine radijalno postavljene lopatice u kolima pumpe i turbine [1]. Kružno strujanje fluida je moguće samo kada postoji razlika brzina vrtnje između pumpe i turbine, jer samo tada postoji razlika centrifugalnih sila koja proizvodi kruženje fluida, znači da će kutna brzina gonjenog stroja biti uvijek malo manja od kutne brzine pogonskog stroja. Relativna razlika između kutnih brzina pumpe i turbine naziva se klizanje.

Presjek hidrodinamičke spojke prikazan je na slici 8.3. pogonski stroj preko elastične spojke (označena brojem 1 na slici) okreće kućište s lopaticama (označeno brojem 2 na slici) koje je zatvoreno poklopcem (broj 3 na slici). Snaga se prenosi na turbinu (označeno brojem 4 na slici), odnosno na priključak za vratilo radnog stroja (broj 5 na slici) [1].



Slika 8.3. Presjek kroz hidrodinamičku spojku [1]

Kod hidrodinamičkih spojki prijenos momenata i snage je ostvaren uz minimalno trošenje nekih dijelova spojke, budući da osnovne komponente prijenosa snage nisu u dodiru. Dijelovi koji su izloženi trošenju su ležajevi i brtve ugrađeni u spojku. Hidrodinamičke spojke omogućavaju pokretanje pogonskog stroja pod malim opterećenjem. Budući da ne postoji trošenje

komponenta prijenosa snage, trajanje klizanja nije ograničeno, što omogućava male momente ubrzavanja radnoga stroja, odnosno dugotrajno ubrzavanje velikih masa [1]. Kod pogona visoko opterećenih traka je to posebno važno. Kod nekih izvedbi hidrodinamičkih spojki može se osigurati pouzdana zaštita od preopterećenja stalnim upravljanjem ograničenja momenta. Većina hidrodinamičkih spojki može raditi u oba smjera vrtnje, te mogu prenositi velike momente. Prenesena snaga ovisi o brzini vrtnje, razlici u brzini vrtnje (klizanju) i veličini spojke, a obično se kreće od 0,5 do 2 MW [1].

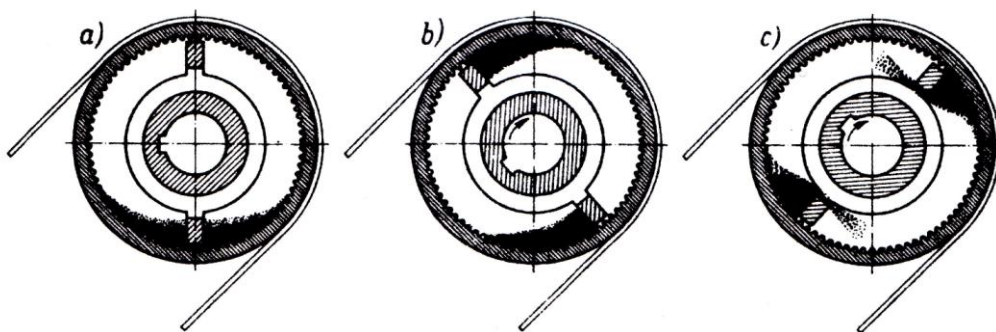
9. SPECIJALNE VRSTE SPOJKI

U specijalne vrste spojki spadaju spojke koje služe za sigurno upuštanje u rad poput centrifugalnih spojki, jednosmjerne spojke koje prenose okretni moment u jednom smjeru i sigurnosne spojke koje u slučaju prekoračenja okretnog momenta vrše razdvajanje vratila.

9.1. Centrifugalne spojke

Centrifugalne spojke omogućuju da pogonski strojevi dođu na približno pun broj okretaja i time imaju približno puni moment torzije prije nego što ih optereti gonjeni stroj. Time se izbjegava potreba za dimenzioniranjem pogonskog stroja za snagu potrebnu za upuštanje u rad. Koriste se kod kratkospojnih elektro – motora, motora s unutarnjim izgaranjem. Centrifugalne spojke rade tako da djelovanjem centrifugalne sile nastaje sila trenja koja osigurava prenošenje radnog momenta pri nazivnoj brzini vrtnje.

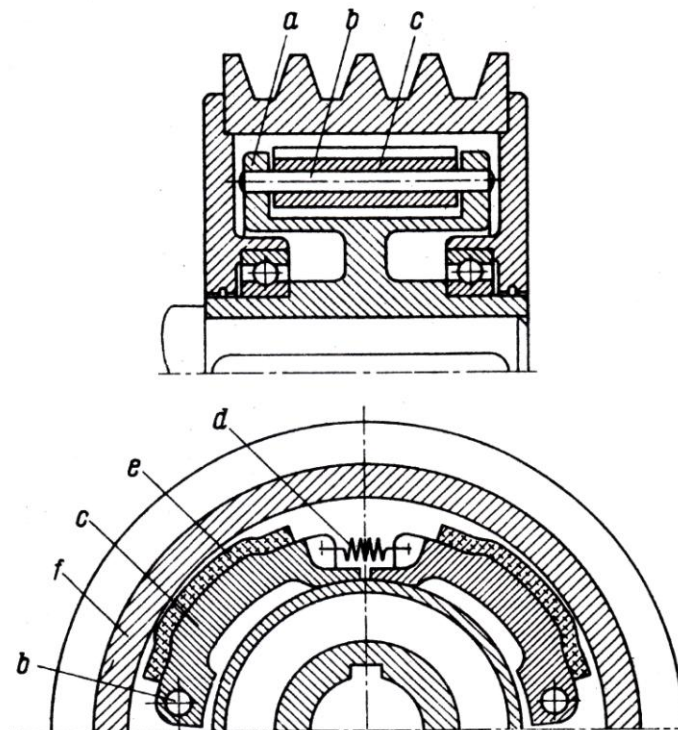
Centrifugalna spojka (spojka Pulvis) punjena je kalibriranim čeličnim kuglicama. Pogonska strana ima dva ili više krilca, a vanjski dio ima oblik bubnja s rebrima na unutarnjoj strani. Slika 9.1. prikazuje način djelovanja spojke Pulvis. Na slici 9.1. *a)* je prikazana spojka dok je stroj isključen. Centrifugalna sila tlači kuglice na bubanj koje onda kao čvrsto tijelo prenose opterećenje na krilca rotora prikazano na slici 9.1. *b)*. Ako brzina vrtnje i centrifugalna sila nisu dovoljno veliki, dio kuglica se preljeva preko krilaca rotora i ne prenosi nikakvu silu na bubanj što je prikazano na slici 9.1. *c)*.



Slika 9.1. Način djelovanja centrifugalne spojke s čeličnim kuglicama (spojka Pulvis) [1]

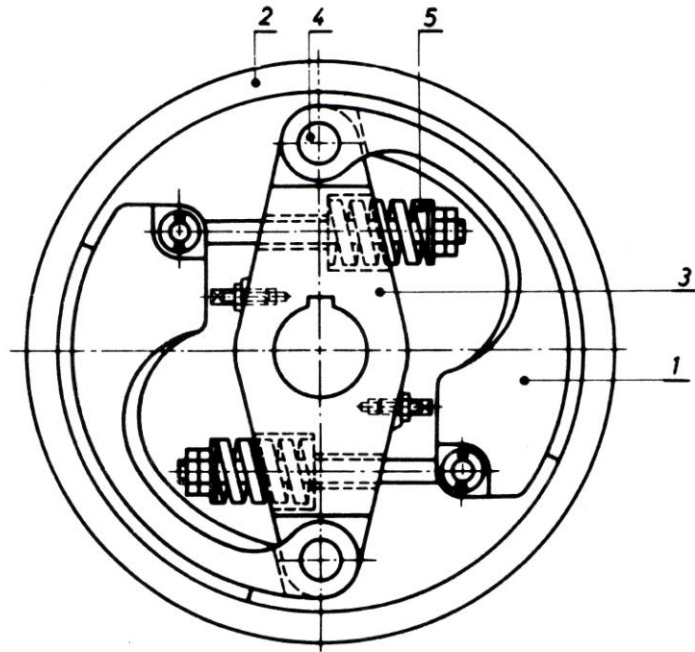
Slično radi i spojka Metalluk. Između spojke Pulvis i Metalluk nema velike konstrukcijske razlike. Kod spojke Pulvis koriste se čelična zrnca promjera 1 mm, a kod spojke Metalluk čelične kuglice od 5 do 10 mm, ovlažena uljem [6].

Čeljusne centrifugalne spojke predstavnici su spojki za regulirano upuštanje u rad. Spojke tu funkciju obavljaju pomoću opruga, te se pri tome one određenom protusilom suprotstavljaju stupanju tarnih površina u dodir pod utjecajem centrifugalne sile. Kada centrifugalna sila postane veća od protusile uspostavlja se dodir tarnih površina, te tada počinje prenošenje zakretnog momenta trenjem. Na slici 9.2. prikazana je čeljusna centrifugalna spojka tvrtke Flender. Pogonski dio (označen slovom *a* na slici) čeljusne centrifugalne spojke na svornjacima (slovo *b*) nosi okretljive čeljusti (slovo *c* na slici), koje su pritisnute oprugom (označeno slovom *d*) uz glavinu. Kada brzina vrtnje dostigne određenu vrijednost, centrifugalna sila čeljusti svladava silu u oprugama, pa čeljusti pritišću svojim tarnim oblogama (označeno slovom *e*) na vanjski prsten (slovo *f*) gonjenog dijela spojke.



Slika 9.2. Čeljusna centrifugalna spojka tvrtke Flender [1]

Jedna od izvedbi centrifugalne spojke s cilindričnim segmentima prikazana je na slici 9.3. Spojka se uključuje djelovanjem centrifugalne sile na segmente (označeno brojem 1 na slici) koji su povezani preko nosača (broj 3) s pogonskim vratilom. Kada pogonsko vratilo toliko ubrza da centrifugalna sila svlada silu u opruzi (označeno brojem 5), segment učvršćen s osovinicom (broj 4) priliježe na bubanj (označeno brojem 2), te trenjem ostvaruje prijenos snage na gonjeni stroj.

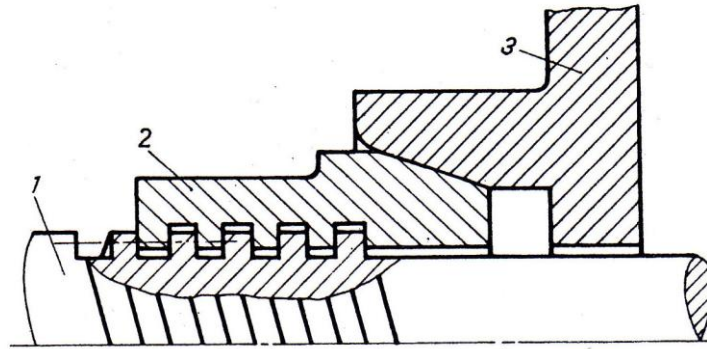


Slika 9.3. Centrifugalna spojka s cilindričnim segmentima [1]

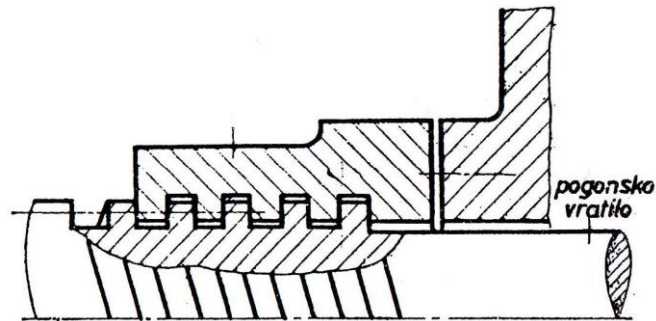
9.2. Jednosmjerne spojke

Jednosmjerne spojke služe za prenošenje momenta torzije samo u jednom smjeru. Spoj se automatski prekida ako gonjena strana preteče pogonsku, ili ako se promjeni smjer okretanja pogonskog stroja. Zbog toga jednosmjerne spojke djeluju u suprotnom smjeru rotacije kao kočnice, a u smjeru kretanja kao slobodno okretni element. Zadatak ovih spojki je onemogućavanje prenošenja momenta torzije u neželjenom smjeru ili da omogući automatsko isključenje mehanizma u trenutku promjene smjera okretanja. Po načinu ostvarivanja veze jednosmjerne spojke se dijele na: kandžaste, zupčaste i tarne. Jednosmjerne spojke se dijele na aksijalne i radijalne.

Aksijalne jednosmjerne spojke se gotovo isključivo rade prema principu prikazanom slikom 9.4. i 9.5. to su zapravo tarne spojke sa stožastim (prikazano na slici 9.4.) ili pločastim (prikazano slikom 9.5.) tarnim površinama.



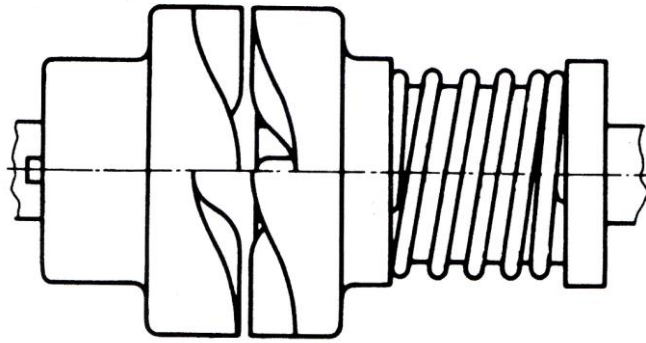
Slika 9.4. Aksijalna jednosmjerna spojka sa stožastim tarnim površinama
1. Vijak na pogonskom vratilu, 2. matica, 3. gonjeni dio [6]



Slika 9.5. Aksijalna jednosmjerna spojka s pločastim tarnim površinama [4]

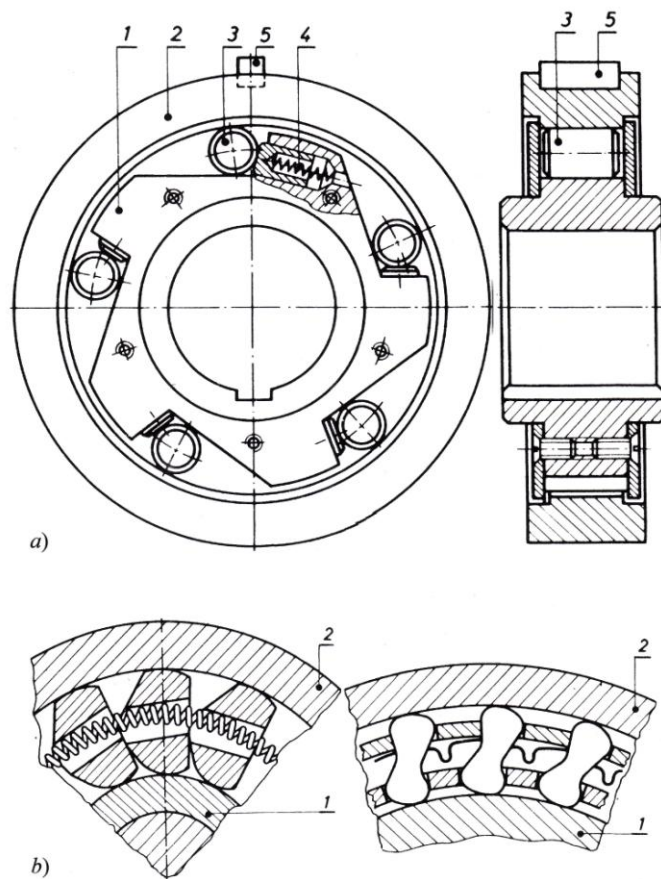
Jedna tarna površina se nalazi na matici pogonskog dijela, a druga tarna površinama na gonjenom dijelu. Pogonski dio je vijak izrađen na pogonskom vratilu s plosnatim ili trapeznim navojem, a matica se po navoju vijka može aksijalno pomicati. Ako je smjer rotacije vijka u smjeru u kojem se treba prenositi moment torzije matica se primiče prema gonjenom dijelu. Okreće li se vijak u suprotnom smjeru matica se udaljuje i isključuje spojku. Aksijalne jednosmjerne spojke se primjenjuju za prijenos malih momenata torzije.

Primjer kandžaste jednosmjerne spojke prikazan je na slici 9.6. Kandže imaju uvijek nesimetričan profil koji osigurava prenošenje momenta torzije samo u jednom smjeru. Aksijalno pokretljiva glava je stalno pritisnuta oprugom relativno male krutosti koja dopušta da se pri promjeni smjera okretanja kandže spojke izađu iz zahvata klizeći po bokovima manjeg nagiba te se time veza između vratila prekida.



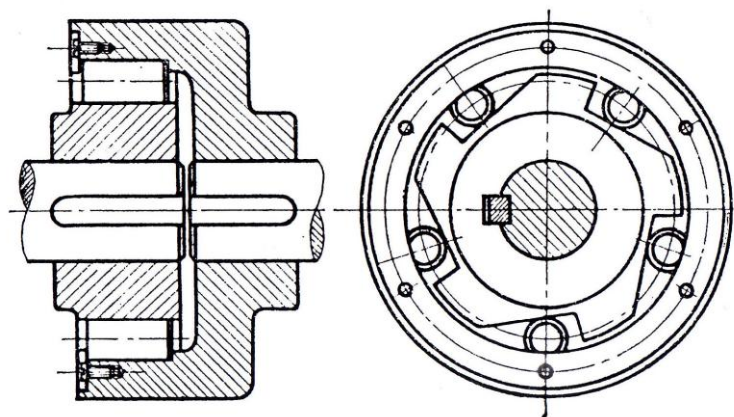
Slika 9.6. Jednosmjerna kandžasta spojka [1]

Radialne jednosmjerne spojke se u tehničkoj praksi upotrebljavaju češće od aksijalnih. Te spojke prenose moment torzije trenjem. Radialne jednosmjerne spojke služe za prijenos srednjih i niskih momenata torzije. Radialna jednosmjerna tarna spojka prikazana na slici 9.7. prenosi moment uklinjavanjem pomoćnih elemenata u prostor između pogonske i gonjene glavine. Pomoćni elementi mogu biti kuglice ili valjčići koji mogu imati kružni ili nekružni presjek. Kružni valjčići (označeno brojem 3 na slici) smješteni su u klinaste šupljine između zvjezdastog pogonskog dijela (broj 1 na slici) i bubnja spojke (broj 2). Zvjezdasti dio je spojen na pogonsko vratilo, dok bubanj spojke pomoću pera (na slici broj 5) može biti spojen s nekim drugim elementom na gonjenom vratilu. Da bi zahvat svih valjčića bio istodoban, kod nekih se konstrukcija valjci pritišću oprugama (broj 4 na slici) u suženi dio šupljine. Okretanjem pogonskog vratila u jednom smjeru dolazi do utiskivanja valjčića u suženje te se povećava sila trenja i prenosi se moment torzije. Promjenom smjera okretanja valjčići se pomiču u prošireni dio međuprostora gdje dolazi do smanjenja sila trenja što dovodi do praznog hoda spojke. Ova vrsta spojki omogućuje uključivanje u bilo kojem položaju. Modernije izvedbe imaju valjčiće nekružnog presjeka, prikazano na slici 9.7. *b*), koji zbog većeg polumjera na mjestu dodira imaju znatno veću nosivost i duži vijek trajanja.



Slika 9.7. Radijalna jednosmjerna tarva spojka s a) kružnim i b) nekružnim valjcima [1]

Na slici 9.8. je prikazana izvedba radijalne jednosmjerne spojke s valjcima bez opruge.



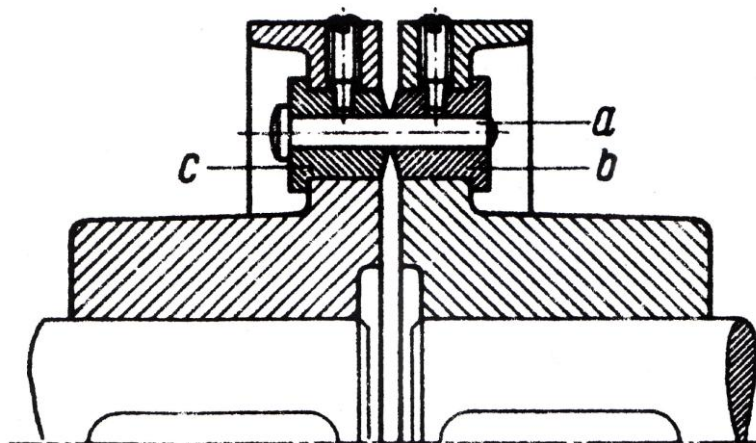
Slika 9.8. Radijalna jednosmjerna tarva spojka s valjcima bez opruge [4]

9.3. Sigurnosne spojke

Sigurnosne spojke služe za zaštitu stroja od preopterećenja, koja mogu uzrokovati trajne deformacije ili lom dijelova, ili koja bi mogla ugroziti normalan rad stroja.

9.3.1. Sigurnosna spojka sa svornjacima

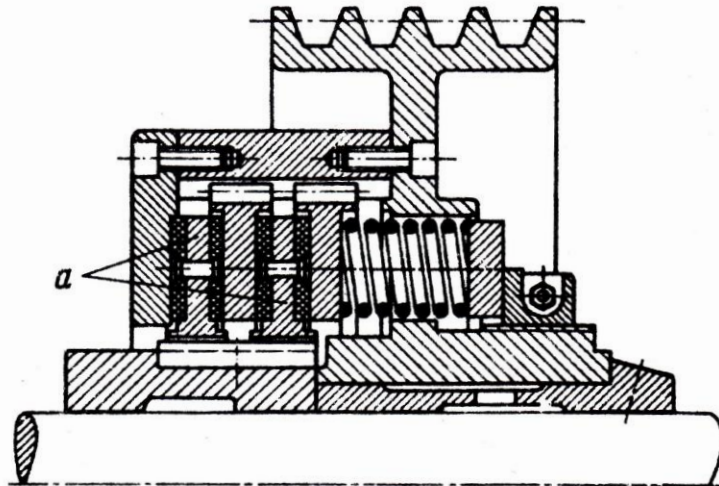
Sigurnosna spojka sa svornjacima prikazana na slici 9.9. je jednostavna spojka kod koje se moment torzije prenosi pomoću svornjaka (na slici označeno slovom *a*) koji se pri preopterećenju lome. Svornjaci su uloženi u zakaljane čahure (na slici slova *b* i *c*). Presjek svornjaka tako je dimenzioniran da do loma svornjaka dolazi pri prekoračenju dopuštenog momenta torzije. Slomljeni svornjaci mogu se, pošto je zaustavljeno okretanje, lako zamijeniti novima. Loša strana spojke sa svornjacima je gubitak vremena na zamjenu puknutih svornjaka.



Slika 9.9. Sigurnosna spojka s prekidnim svornjacima [1]

9.3.2. Sigurnosna tarne spojka

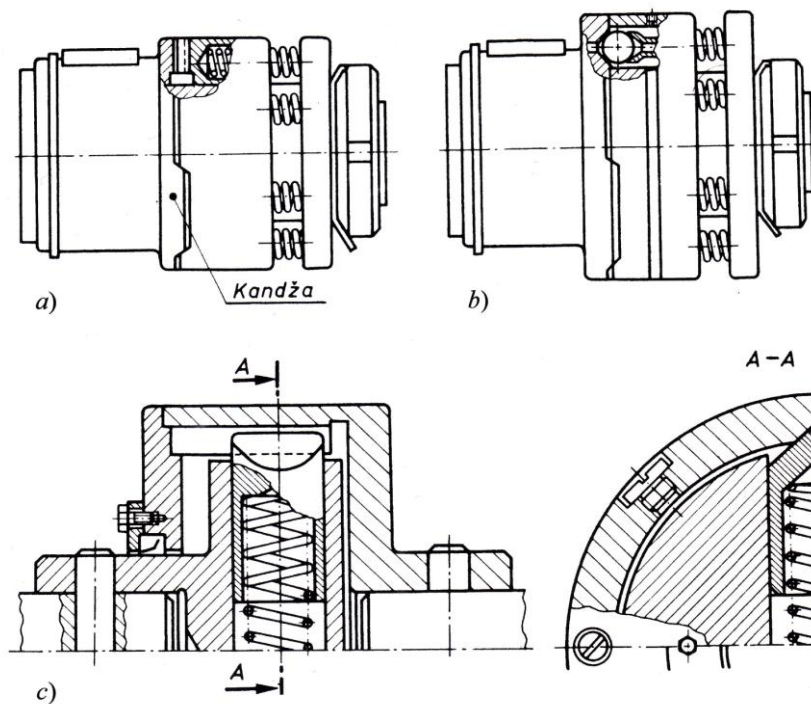
Sigurnosna tarne spojka prikazana na slici 9.10. su tarne spojke kod kojih se uključanje spojke, to jest stvaranje pritiska na tarne površine, izvodi za vrijeme mirovanja. Paket lamela (označeno slovom *a* na slici) je pod aksijalnim pritiskom opruge. Ako je određeni moment torzije, koji se može regulirati, prekoračen nastaje klizanje među lamelama. Tarne sigurnosne spojke smiju kliziti samo određeno vrijeme kako bi se izbjeglo pregrijavanje. Promjenom pritiska opruge može se regulirati moment proklizavanja.



Slika 9.10. Sigurnosna tarva spojka [1]

9.3.3. Sigurnosna spojka s kuglicama, kandžama i s radijalnim grebenom

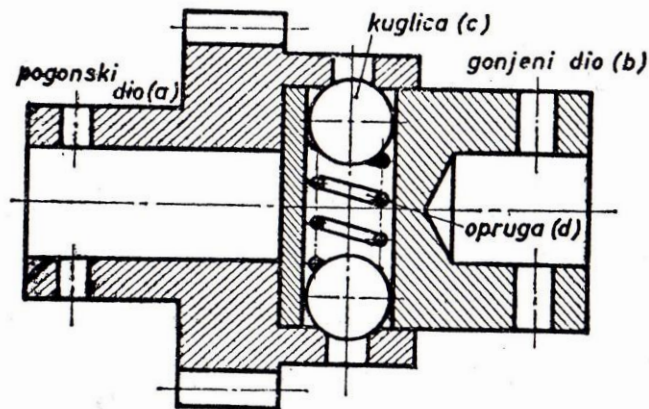
Glavni dijelovi ove vrste sigurnosnih spojki su opruge i elementi za vezu (kuglice, valjčići, greben ili kandže). Vezu je ostvarena pritiskom opruga na kandže prikazano na slici 9.11. *a*), kuglice prikazano na slici 9.11. *b*), i na radijalni greben prikazano slikom 9.11. *c*). Pri preopterećenju dolazi do proklizivanja oboda uz veliku buku i naglo zagrijavanje spojke.



Slika 9.11. Sigurnosna spojka s *a*) kandžama, *b*) s kuglicama i *c*) s radijalnim grebenom [1]

Elementi za vezu su izloženi znatnim dodirnim naprezanjima u svim uvjetima rada, i trošenju pri povremenom proklizivanju [1]. Ove spojke imaju veću točnost i pouzdanost djelovanja u odnosu na sigurnosne tarne spojke [1].

Sigurnosna spojka s kuglicom za prijenos niskih momenata torzije prikazana je slikom 9.12. Izvedba spojke je vrlo jednostavna, sastoji se od pogonske polovine (označeno slovom *a* na slici), gonjene polovine (slovo *b*), dviju kuglica (slovo *c* na slici) i zavojne opruge (slovo *d*). Opruga pritišće kuglice u udubljenja i na taj način se prenosi moment torzije s pogonskog na gonjeni dio. Pri preopterećenju aksijalna sila kuglice svladava otpor opruge i dolazi do proklizavanja, te pri tome kuglice preskaču udubljenja i buče.



Slika 9.12. Sigurnosna spojka s kuglicama [4]

10. OSNOVE PRORAČUNA SPOJKI

Svrha spojeva spojenih sa spojka može biti prenošenje momenta okretanja M_o ili torzije M_t , što je zapravo jedno te isto, s pogonskog na gonjeni stroj. Osnovna jednačba za proračunavanje spojke prikazana formulom (10.1) prikazuje maksimalan moment koji spojka može prenositi u radu [6].

$$M_{o\max} = M_o \varphi = \frac{P}{2\pi n} = \frac{P}{\omega} \varphi \quad (10.1)$$

gdje je:

$M_{o\max}$, Nm – maksimalan moment,

M_o , Nm – moment okretanja,

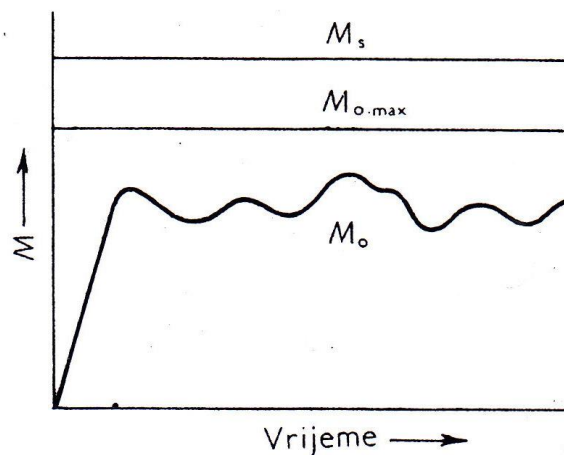
φ – faktor nejednoličnosti ili faktor udara,

P , W – snaga koja se prenosi,

n , o/min – broj okretaja vratila,

ω , s^{-1} – kutna brzina.

Za određivanje momenta je potrebno poznavati snagu koja se prenosi i veličinu φ koja se obično uzima iz priručnika. Sposobnost spojke da sa sigurnošću može prenositi snagu putem momenta vrtnje izražava se obično momentom spojke M_s . Maksimalan moment $M_{o\max}$ koji može nastupiti u radu mora biti manji od momenta spojke M_s i samo u krajnjem slučaju može biti jednak momentu spojke. Slika 10.1. prikazuje odnose između veličina M_s , $M_{o\max}$ i M_o .



Slika 10.1. Odnos momenta spojke M_s , maksimalnog momenta $M_{o\max}$, i normalnog momenta u ovisnosti o vremenu [6]

10.1. Proračun krutih spojki

Kod krute spojke s prirubnicama okretni moment se prenosi trenjem (sila) ili vijcima (oblikom). Broj vijaka bira se u ovisnosti od promjera vratila u mm što je prikazano tablicom 10.1. Proračun krutih spojki s prirubnicama prema [3] prikazan je formulama (10.2) do (10.5).

Tablica 10.1. Broj vijaka u zavisnosti o promjeru vratila u mm[3]

Promjer vratila	25 – 85	90 – 125	130 – 175	180 – 240	250 – 300
Broj vijaka	4	6	8	10	12

Ako se moment prenosi vijcima, moraju i vijci i provrti biti izrađeni s određenom tolerancijom i točno prilagođeni, npr. *H7/k6* ili *H7/m6* [3]. Vijci su smično opterećeni i iz uvjeta čvrstoće prikazanog formulom (10.2) može se izračunati najmanji potreban promjer jezgre vijka d_j pomoću formule (10.3).

$$\tau_s = \frac{2 \cdot T}{z \cdot D_0 \cdot A_j} \leq \tau_{sdop} \quad (10.2)$$

gdje je:

τ_s , N/m² – stvarno naprezanje na smik,

z – broj vijaka,

A_j , m² – presjek jezgre vijka,

T , Nm – okretni moment,

D_0 , m – promjer diobene kružnice vijaka,

τ_{sdop} , N/m² – dopušteno naprezanje na smik.

$$d_j \geq \sqrt{\frac{8 \cdot T}{z \cdot \pi \cdot D_0 \cdot \tau_{sdop}}} \quad (10.3)$$

gdje je:

d_j , m – promjer jezgre vijka,

z – broj vijaka,

T , Nm – okretni moment,

D_0 , m – promjer diobene kružnice vijaka,

τ_{sdop} , N/m² – dopušteno naprezanje na smik.

Ako se okretni moment prenosi trenjem između dosjednih površina spojke, vijci moraju biti čvrsto pritegnuti da trenje na čelnim stranama prirubnica $\mu \cdot F_N$ bude veće od obodne sile F_0 , jer inače dolazi do naprezanja vijaka na smik zbog klizanja. Izraz za priteznu silu F_N je prikazan jednadžbom (10.4).

$$F_N \geq \frac{F_0}{\mu} = \frac{2 \cdot T}{\mu \cdot D_0} \quad (10.4)$$

gdje je:

F_N , N – normalna sila,

F_0 , N – obodna sila,

μ – faktor trenja,

T , Nm – moment torzije,

D_0 , m – promjer diobene kružnice.

Faktor trenja μ ima vrijednost od 0,20 do 0,25. Poželjno je da je što veći pa su zbog toga dodirne površine prirubnica grubo obrađene. Vijci su pri prijenosu okretnog momenta trenjem opterećeni na vlak i torziju, pa se promjer jezgre vijaka d može izračunati iz jednadžbe (10.5).

$$d \geq 1.3 \sqrt{\frac{F_N}{z \cdot \sigma_{Vdop}}} = 1.3 \sqrt{\frac{F_0}{\mu \cdot z \cdot \sigma_{Vdop}}} = 1.3 \sqrt{\frac{2T}{z \cdot D_0 \cdot \sigma_{Vdop}}} \quad (10.5)$$

gdje je:

d , m – promjer jezgre vijka,

F_N , N – normalna sila,

z – broj vijaka,

σ_{Vdop} , N/m² – dopušteno vlačno naprezanje,

F_0 , N – obodna sila,

μ – faktor trenja,

T , Nm – moment torzije,

D_0 , m – promjer diobene kružnice.

Vlačna sila koja djeluje u jednom vijku spojke pri prijenosu momenta trenjem izračunava se prema [6] jednadžbom (10.6).

$$F = \frac{2M_{o\max}}{D_m \cdot z \cdot \mu} \quad (10.6)$$

gdje je:

- F , N – vlačna sila,
- $M_{o\max}$, Nm – maksimalni moment,
- D_m , m – promjer kruga rupa za vijke,
- z – broj vijaka,
- μ – faktor trenja.

Proračun Hirthove spojke izrađuje se kontrolom naprezanja na savijanje i na specifični pritisak na bokovima zubi. Proračun Hirthve spojke prema [4] prikazan je formulama od (10.7) do (10.10) Uzdužna sila F_1 dovodi do nalijeganja bokova zubi. Okretni moment M_o djeluje na zube obodnom silom F_0 , koja povećava specifični pritisak na bokove zubi, a ujedno izlaže zube savojnom naprezanju. Ukupno naprezanje daje zbroj naprezanja na pritisak i naprezanja na savijanje (10.7).

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_p \quad (10.7)$$

gdje je:

- σ , N/m² – ukupno naprezanje,
- σ_s , N/m² – naprezanje na savijanje,
- σ_p , N/m² – naprezanje na pritisak.

Ukupno naprezanje se može izračunati i jednadžbom (10.8).

$$\sigma \approx 20 \dots 40 \frac{h_y \cdot y \cdot M_o}{(D_h + d_h)^3 \cdot (D_h - d_h)} \leq \sigma_{dop} \quad (10.8)$$

gdje je:

- σ , N/m² – ukupno naprezanje,
- y – broj zubi,
- h_y , m – visina profila zuba,
- M_o , Nm – moment okretanja,
- D_h , m – vanjski promjer Hirthove spojke,

d_h , m – unutarnji promjer Hirthove spojke,
 σ_{dop} , N/m² – dopušteno naprezanje.

Uzdužna sila F_u nastoji razdvojiti polovine spojke. Kako bi se to spriječilo izraz za vrijednost koju mora imati uzdužna sila je prikazan jednačbom (10.9).

$$F_u \geq 0,4 \dots 0,8 F_0 = 1,6 \dots 3,2 \frac{M_o}{D_h + d_h} \quad (10.9)$$

gdje je:

F_u , N – uzdužna sila,
 F_0 , N – obodna sila,
 M_o , Nm – moment okretanja,
 D_h , m – vanjski promjer Hirthove spojke,
 d_h , m – unutarnji promjer Hirthove spojke.

Prema uzdužnoj sili računamo presjek vijka pomoću izraza (10.10).

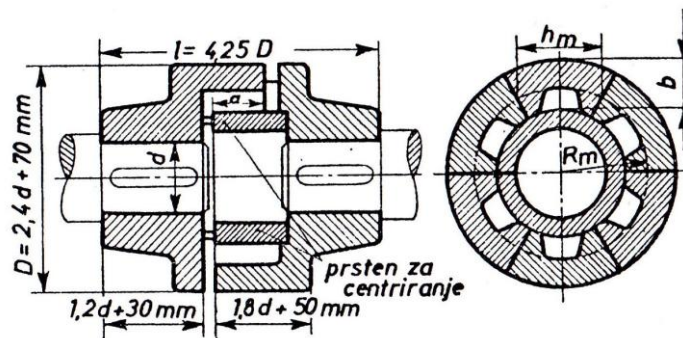
$$F_u = A_j \sigma_{prit} \quad (10.10)$$

gdje je:

F_u , N – uzdužna sila,
 A_j , m² – presjek jezgre vijka,
 σ_{prit} , N/m² – naprezanje izazvano prethodnom silom prilikom pritezanja vijka.

10.2. Proračun kompenzacijskih spojki

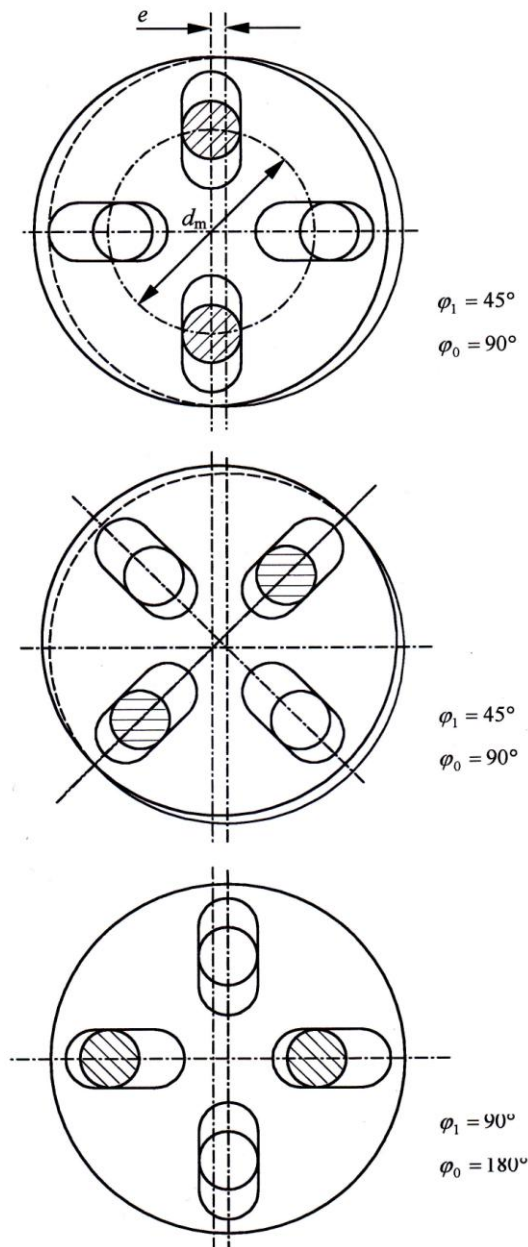
Iskustvene vrijednosti za dimenzioniranje kandžaste spojke prikazane su na slici 10.2.



Slika 10.2. Dimenzije kandžaste spojke [4]

Spojka se kontrolira na savijanje i na specifičan pritisak naležnih površina. Vrijednost dopuštenog specifičnog pritiska p_{dop} iznosi od 5 do 10 N/mm², a vrijednost dopuštenog savojnog naprezanja σ_{dop} iznosi od 15 do 25 N/mm² [4].

Oldhamova spojka i gibanje elemenata Oldhamove spojke prikazano je na slici 10.3. Kutne brzine krajnjih (vanjskih) ploča ω_1 i ω_2 su jednake. Proračun Oldhamove spojke prema [1] prikazan je formulama (10.11) do (10.13).



Slika 10.3. Kinematika Oldhamove spojke [1]

Kutna brzina središta srednje ploče prikazana je izrazom (10.11).

$$\omega_0 = 2\omega_1 \quad (10.11)$$

gdje je:

ω_0, s^{-1} – kutna brzina središta srednje ploče,

$\omega_{1P}, \text{s}^{-1}$ – kutna brzina pogonske ploče.

Masa m_0 srednje ploče mora biti što manja kako bi i centrifugalna sila F_{ce} koja djeluje na srednju ploču bila što manja. Centrifugalna sila se može izračunati jednadžbom (10.12).

$$F_{ce} = m_0 \frac{e\omega_0^2}{2} = 2m_0 e \omega_{1P}^2 \quad (10.12)$$

gdje je:

F_{ce}, N – centrifugalna sila,

m_0, kg – masa srednje ploče,

e, m – poprečni razmak osi vratila,

ω_0, s^{-1} – kutna brzina središta srednje ploče,

$\omega_{1P}, \text{s}^{-1}$ – kutna brzina pogonske ploče.

Stupanj djelovanja računa se iz izraza (10.13).

$$\eta = 1 - 8\mu \frac{e}{\pi d_m} \quad (10.13)$$

gdje je:

η – stupanj djelovanja,

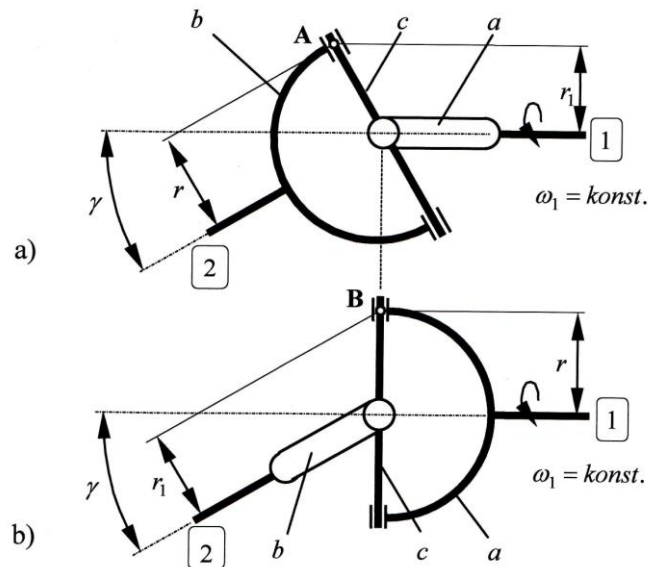
μ – faktor trenja,

e, m – poprečni razmak osi vratila,

d_m, m – srednji promjer spojke.

10.3. Proračun kardanskog zgloba i kardanskog vratila

Kardanski zglob kao osnovno svojstvo ima kompenzaciju kutnog pomaka i nedostatak mu je to što se kutna brzina tijekom jednog okretaja na gonjenoj strani mijenja. Slika 10.4. prikazuje rotaciju kardanskog zgloba. Proračun kardanskog zgloba i kardanskog vratila prema [1] prikazan je formulama od (10.14) do (10.32).



Slika 10.4. Kardanski zglob u dva različita položaja rotacije [1]

Promatramo trenutnu brzinu točke A na slici 10.4. a) u prvom položaju zgloba. Vratilo 1 i vilica a okreću se stalnom kutnom brzinom ω_1 . Iz izraza (10.14) se može izračunati obodna brzina točke A oko osi 1.

$$v'_A = \omega_1 r_1 = \omega_1 r \cos \gamma \quad (10.14)$$

gdje je:

- v'_A , m/s – obodna brzina točke A oko osi 1,
- ω_1 , s^{-1} – kutna brzina pogonskog stroja,
- r_1 , m – radijus rotacije kosog položaja,
- r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja,
- γ – kut između vratila.

Vratilo 2 i vilica b se okreću trenutnom kutnom brzinom ω_2 , te se obodna brzina točke A oko osi 2 može izračunati iz izraza (10.15).

$$v_A'' = \omega_2 r \quad (10.15)$$

gdje je:

v_A'' , m/s – obodna brzina točke A oko osi 2,

ω_2 , s⁻¹ – kutna brzina gonjenog stroja,

r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja.

Obodne brzine u točki A su jednake ($v_A' = v_A''$), te se trenutačna kutna brzina može izračunati iz izraza (10.16).

$$\omega_2 = \omega_1 \cos \gamma \quad (10.16)$$

gdje je:

ω_2 , s⁻¹ – kutna brzina gonjenog stroja,

ω_1 , s⁻¹ – kutna brzina pogonskog stroja,

γ – kut između vratila.

U drugom položaju zgloba prikazanom slikom 10.4. *b*) promatramo trenutačne brzine točke B. Obodna brzina točke B oko osi 1 prikazana je izrazom (10.17), a oko osi 2 izrazom (10.18).

$$v_B' = \omega_1 r \quad (10.17)$$

gdje je:

v_B' , m/s – obodna brzina točke B oko osi 1,

ω_1 , s⁻¹ – kutna brzina pogonskog stroja,

r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja.

$$v_B'' = \omega_2 r_1 = \omega_2 r \cos \gamma \quad (10.18)$$

gdje je:

v_B'' , m/s – obodna brzina točke B oko osi 2,

ω_2 , s⁻¹ – kutna brzina gonjenog stroja,

r_1 , m – radijus rotacije kosog položaja,

r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja,
 γ – kut između vratila.

Obodne brzine u točki B su jednake ($v'_B = v''_B$), pa se iz izraza (10.19) dobije trenutna kutna brzina.

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{\cos \gamma} \quad (10.19)$$

gdje je:

ω_2 , s⁻¹ – kutna brzina gonjenog stroja,
 ω_1 , s⁻¹ – kutna brzina pogonskog stroja,
 γ – kut između vratila.

Ovisnost kutne brzine ω_2 o kutu φ za koji je zakrenuto vratilo 2 u odnosu na vratilo 1 dobije se jednadžbom (10.20).

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{\cos \gamma}{1 - \sin^2 \varphi \sin^2 \gamma} \quad (10.20)$$

gdje je:

ω_2 , s⁻¹ – kutna brzina gonjenog stroja,
 ω_1 , s⁻¹ – kutna brzina pogonskog stroja,
 γ – kut između vratila,
 φ – kut zakrenutosti.

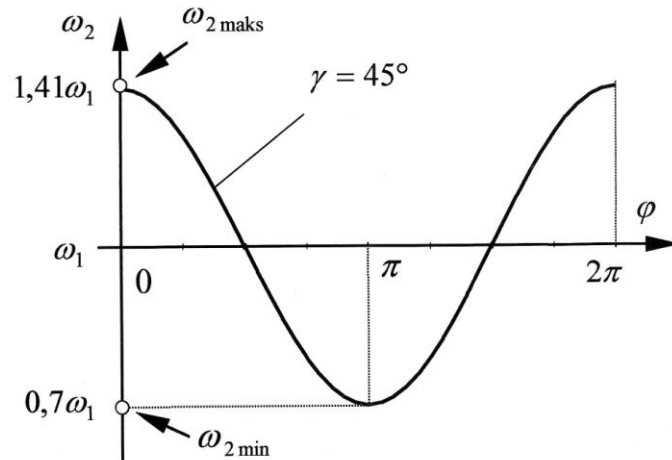
Jednadžba (10.21) služi za izračun faktora nejednolikosti kutne brzine.

$$\kappa = \frac{\omega_{2max} - \omega_{2min}}{\omega_1} = \frac{\sin^2 \gamma}{\cos \gamma} \quad (10.21)$$

gdje je:

κ – faktor nejednolikosti,
 ω_{2max} , s⁻¹ – maksimalna kutna brzina gonjenog vratila,
 ω_{2min} , s⁻¹ – minimalna kutna brzina gonjenog vratila,
 ω_1 , s⁻¹ – kutna brzina pogonskog stroja,
 γ – kut između vratila.

Nejednolikost prijenosa kutne brzine kardanskog zgloba prikazana je slikom 10.5.



Slika 10.5. Nejednolikost prijenosa kutne brzine kardanskog zgloba [1]

Primjenom kardanskog vratila s dva kardanska zgloba s jednakim kutnim pomacima osi se može poništiti nejednolikost kutne brzine. Ulazno i izlazno vratilo imaju jednake kutne brzine, a kutna brzina međuvratila je promjenjiva. Svaka promjena brzine je ubrzanje koje izaziva inercijalne sile, te zbog toga međuvratilo mora imati što manju masu što su kutni pomaci veći.

10.3.1. Ubrzanje i moment ubrzanja vratila

Zbog nejednolikosti brzina međuvratilo je podložno periodičkom ubrzanju, to jest ubrzanju i usporavanju koje se računa jednadžbom (10.22).

$$\dot{\omega}_m = \frac{\partial \omega_m}{\partial t} = \frac{\partial \omega_m}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial \omega_m}{\partial \varphi} \omega = -\omega^2 \frac{\sin^2 \varphi \sin^2 \gamma \cos \gamma}{(1 - \sin^2 \varphi_1 \sin^2 \gamma)^2} \quad (10.22)$$

gdje je:

$\dot{\omega}_m$, $1/s^2$ – kutno ubrzanje međuvratila,

ω_m , s^{-1} – kutna brzina međuvratila,

φ – kut zakrenutosti,

ω , s^{-1} – kutna brzina,

γ – kut između vratila.

Izraz za moment ubrzanja koji se pojavljuje na međuvratilu prikazan je formulom (10.23). Taj moment je proporcionalan ubrzanju i momentu tromosti I_m međuvratila.

$$T_A = I_m \dot{\omega}_m \quad (10.23)$$

gdje je:

T_A , Nm – moment ubrzanja,

I_m , kgm^2 – moment tromosti međuvratila,

$\dot{\omega}_m$, $1/\text{s}^2$ – kutno ubrzanje međuvratila.

Moment ubrzanja T_A dva puta mijenja predznak pri jednom okretu međuvratila, pa vibracije koje može izazvati u čitavom sustavu imaju osnovnu frekvenciju $\Omega = 2\omega$.

10.3.2. Moment na međuvratilu i izlazni moment

Trenutačna snaga $T_1\omega$ na ulaznom vratilu mora biti jednaka snazi $T_{1m}\omega_m$ koja je prenesena na međuvratilo, pa izrazom (10.24) dobivamo iznos momenta T_{1m} na početku međuvratila.

$$T_{1m} = T_1 \frac{\omega}{\omega_m} \quad (10.24)$$

gdje je:

T_{1m} , Nm – moment na početku međuvratila,

T_1 , Nm – moment pogonskog vratila,

ω , s^{-1} – kutna brzina,

ω_m , s^{-1} – kutna brzina međuvratila.

Moment na kraju međuvratila dobivamo izrazom (10.25).

$$T_{2m} = T_{1m} + T_A \quad (10.25)$$

gdje je:

T_{2m} , Nm – moment na kraju međuvratila,

T_{1m} , Nm – moment na početku međuvratila,

T_A , Nm – moment ubrzanja.

Moment na izlaznom vratilu dobivamo izrazom (10.26).

$$T_2 = T_{2m} \frac{\omega_m}{\omega} = T_1 + T_A \frac{\omega_m}{\omega} \quad (10.26)$$

gdje je:

T_2 , Nm – moment na gonjenom vratilu,

T_{2m} , Nm – moment na kraju međuvratila,

ω_m , s⁻¹ – kutna brzina međuvratila,

ω , s⁻¹ – kutna brzina,

T_1 , Nm – moment pogonskog vratila,

T_A , Nm – moment ubrzanja.

10.3.3. Momenti savijanja vratila

Zbog proračuna sila u ležajevima potrebno je poznavati momente savijanja koji djeluju na vratila. Moment savijanja ulaznog vratila na strani zgloba je najveći kod zakrenutosti ulaznoga vratila za kutove $\varphi = 0^\circ$ i 180° . Za kutove $\varphi = 90^\circ$ i 270° moment savijanja je 0 ($M_1 = 0$). Moment savijanja se računa jednadžbom (10.27). Slika 10.6. prikazuje sile u zglobu B i momente na vratilima.

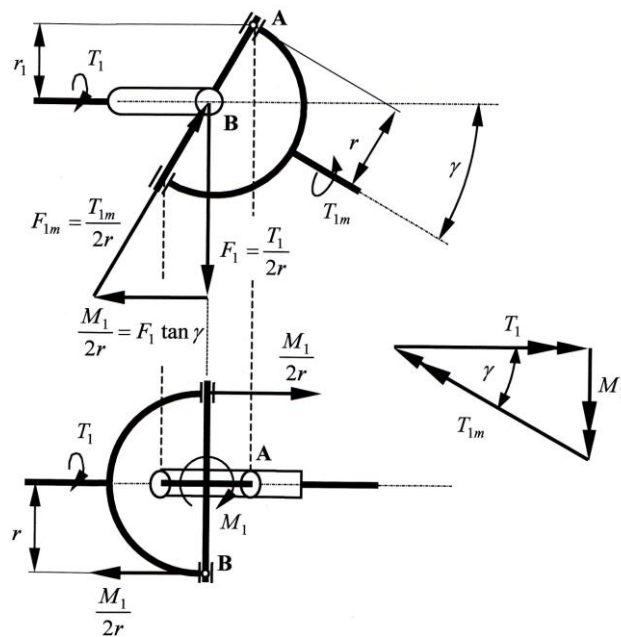
$$M_1 = T_1 \cdot \tan \gamma \quad (10.27)$$

gdje je:

M_1 , Nm – moment savijanja pogonskog vratila,

T_1 , Nm – moment pogonskog vratila,

γ – kut između vratila.



Slika 10.6. Sile u zglobu B i momenti na vratilima kod najveće vrijednosti momenta M_1 [1]

Moment savijanja međuvratila na strani zgloba pogonskog vratila je najveći za kutove $\varphi_1 = 90^\circ$ i 270° . Za kutove $\varphi_1 = 0^\circ$ i 180° moment savijanja međuvratila je 0 ($M_m = 0$). Moment savijanja međuvratila se dobije izrazom (10.28). Sile u zglobu A i momenti na vratilima kod najveće vrijednosti momenta M_m prikazane su na slici 10.7.

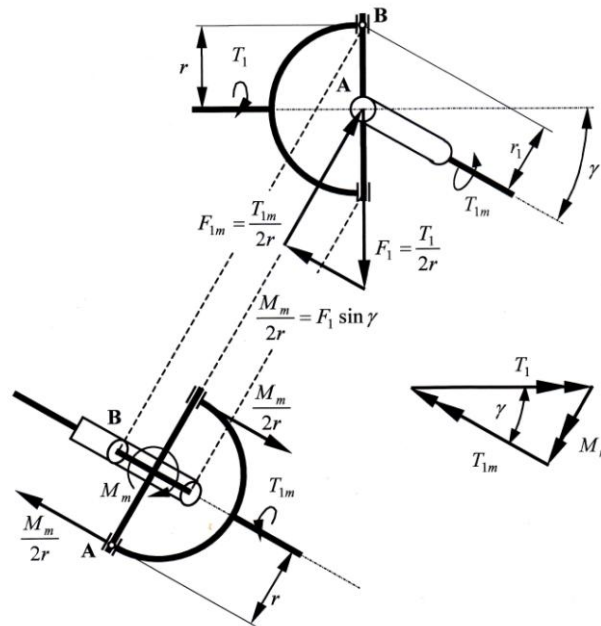
$$M_m = T_1 \cdot \sin \gamma \quad (10.28)$$

gdje je:

M_m , Nm – moment savijanja međuvratila,

T_1 , Nm – moment pogonskog vratila,

γ – kut između vratila.



Slika 10.7. Sile u zglobu A i momenti na vratilima kod najveće vrijednosti momenta M_m [1]

Moment savijanja izlaznog vratila se dobije izrazom (10.29).

$$M_2 = T_2 \cdot \tan \gamma \quad (10.29)$$

gdje je:

M_2 , Nm – moment savijanja gonjenog vratila,

T_2 , Nm – moment gonjenog vratila,

γ – kut između vratila.

10.3.4. Sile u ležajima A i B

Sile u ležajima A i B mijenjaju se između najmanje vrijednosti koja se dobije izrazom (10.30) i najveće vrijednosti koja se dobije izrazom (10.31).

$$F_1 = \frac{T_1}{2r} \quad (10.30)$$

gdje je:

F_1 , N – najmanja vrijednost sile u ležajevima A i B,

T_1 , Nm – moment pogonskog vratila,

r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja.

$$F_{1m} = \frac{T_{1m}}{2r} = \frac{T_1}{2r} \cdot \frac{\omega}{\omega_m} = \frac{T_1}{2r \cos \gamma} \quad (10.31)$$

gdje je:

F_{1m} , N – najveća vrijednost sile u ležajevima A i B,

T_{1m} , Nm – moment na početku međuvratila,

r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja.

T_1 , Nm – moment pogonskog vratila,

ω , s^{-1} – kutna brzina,

ω_m , s^{-1} – kutna brzina međuvratila,

γ – kut između vratila.

10.3.5. Sile u ležajima C i D.

Slika 10.8. prikazuje sile u ležajevima ulaznog vratila. Razmak između ležajeva C i D je označen slovom a . Najveće sile u ležajevima se mogu jednostavno odrediti iz izračunatih momenata savijanja vratila. Tako su naprimjer radijalne sile u ležajevima ulaznog vratila određene izrazom (10.32).

$$F_c = F_D = \frac{M_1}{a} \quad (10.32)$$

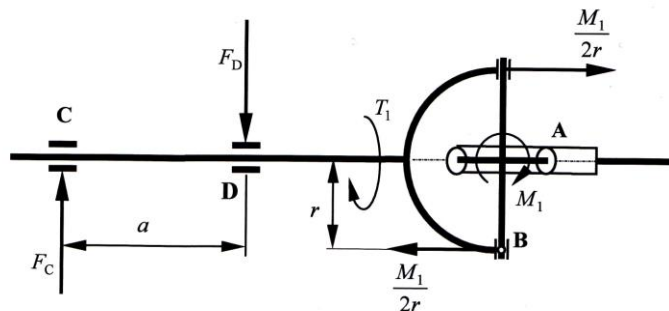
gdje je:

F_C , N – sila u ležaju C,

F_D , N – sila u ležaju D,

M_1 , Nm – moment savijanja pogonskog vratila,

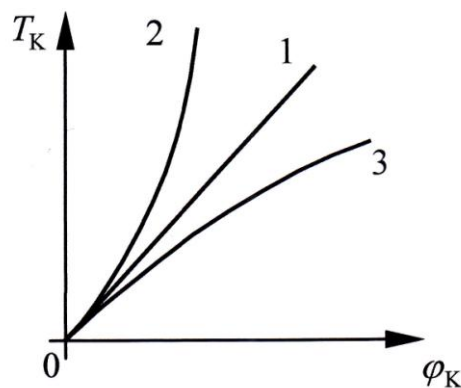
a , m – razmak između ležajeva C i D.



Slika 10.8. Sile u ležajevima ulaznog vratila [1]

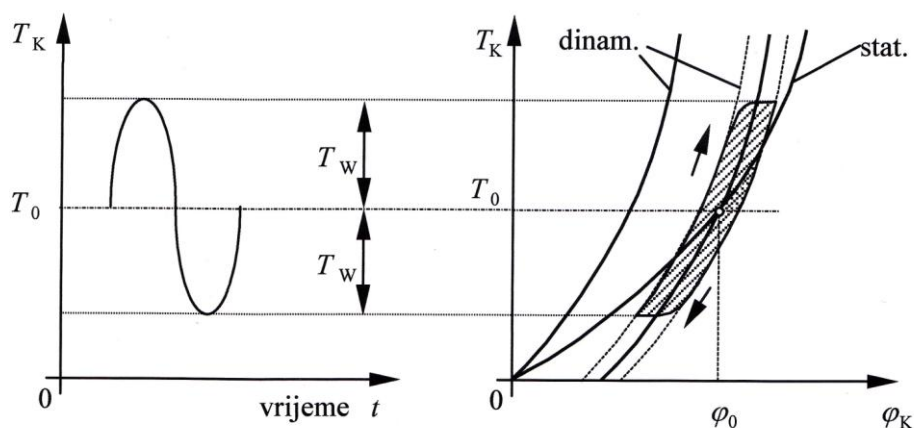
10.4. Proračun elastičnih spojki

Karakteristike elastične spojke su prikazane na slici 10.9. Moment torzije T_K koji djeluje na elastičnu spojku izaziva deformaciju elastičnih elemenata, koja se manifestira kutom zakreta φ_K jednog vratila u odnosu na drugo. Spojka ima linearnu karakteristiku ako se moment torzije T_K linearno mijenja s kutom φ_K . Kada se moment torzije T_K brže povećava od kuta φ_K spojka ima progresivnu karakteristiku, a u suprotnom degresivnu. Ovisno o konstrukciji i materijalu iz kojeg su izrađeni elastični elementi spojke najčešće ima progresivnu ili linearnu karakteristiku, a rijetko degresivnu karakteristiku.



Slika 10.9. Karakteristika spojke: 1 – linearna, 2 – progresivna, 3 – degresivna [1]

Na slici 10.10. je prikazana statička i dinamička karakteristika spojke.



Slika 10.10. Statička i dinamička karakteristika spojke [1]

Proračun elastičnih spojki prema [1] prikazan je formulama (10.33) do (10.61).

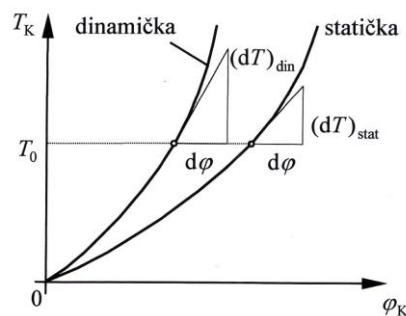
Moment T_K se sastoji od statičke komponente T_0 i periodičke dinamičke komponente amplitude T_w s kružnom Ω frekvencijom i faznim pomakom f , te je izraz za moment T_K prikazan izrazom (10.33).

$$T_K = T_0 + T_w \sin(\Omega t + f) \quad (10.33)$$

gdje je:

- T_K , Nm – moment torzije na spojci,
- T_0 , Nm – statička komponenta momenta,
- T_w , Nm – vibracijski moment torzije,
- Ω , s^{-1} – kružna frekvencija,
- t , s – vrijeme,
- f – fazni pomak.

Statička karakteristika je svojstvena sporim promjenama momenta T_K , a dinamička karakteristika brzim promjenama momenta T_K . Na krivulji statičke karakteristike definiramo statičku torzijsku krutost, a na krivulji dinamičke karakteristike definiramo dinamičku torzijsku krutost što je prikazano slikom 10.11.



Slika 10.11. Definicija statičke i dinamičke torzijske krutosti [1]

Izraz za statičku torzijsku krutost prikazan je formulom (10.34), a za dinamičku torzijsku krutost formulom (10.35). Dinamička torzijska krutost je uvijek veća od statičke torzijske krutosti.

$$R_{stat} = \left(\frac{dT}{d\varphi} \right)_{stat} \quad (10.34)$$

gdje je:

- R_{stat} , Nm – statička torzijska krutost,
- T , Nm – moment torzije,
- φ – kut zakrenutosti.

$$R_{din} = \left(\frac{dT}{d\varphi} \right)_{din} \quad (10.35)$$

gdje je:

R_{din} , Nm – dinamička torzijska krutost,

T , Nm – moment torzije,

φ – kut zakrenutosti.

Promjena torzijske krutosti kod spojki s progresivnom karakteristikom se obično može dovoljno točno opisati jednadžbom (10.36) gdje je R_0 torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$, a R_N torzijska krutost nazivnom momentu spojke $T_K = T_{KN}$.

$$R = R_0 \left(\frac{R_N}{R_0} \right)^{\frac{T_K}{T_{KN}}} \quad (10.36)$$

gdje je:

R , Nm – torzijska krutost,

R_0 , Nm – torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$,

R_N , Nm – torzijska krutost pri nazivnom momentu spojke $T_K = T_{KN}$,

T_K , Nm – moment torzije na spojci,

T_{KN} , Nm – nazivni moment spojke.

Vrijednosti torzijskih krutosti ovise o vrsti elastične spojke i elastičnog uloška, njenoj nosivosti i proizvođaču. Pri momentu $T_K = 0$ statička i dinamička torzijska krutost obično imaju vrijednosti dobivene izrazima (10.37) i (10.38), dok pri nazivnom momentu spojke $T_K = T_{KN}$ statička i dinamička torzijska krutost obično imaju vrijednosti dobivene izrazima (10.39) i (10.40).

$$R_{0stat} \approx (10 \dots 30) T_{KN} \quad (10.37)$$

$$R_{0din} \approx (1,2 \dots 2,5) R_{0stat} \quad (10.38)$$

$$R_{Nstat} \approx (1,3 \dots 3,3) R_{0stat} \quad (10.39)$$

$$R_{Ndin} \approx 3,3 R_{0din} \quad (10.40)$$

Jednadžba (10.41) dobije se integracijom izraza $R = dT/d\varphi$, dolazi se do ovisnosti momenta torzije T_K o kutu φ_K .

$$T_K = \frac{\ln \left(1 - \frac{R_0 \ln \left(\frac{R_N}{R_0} \right)}{T_{KN}} \varphi_K \right)}{\ln \left(\frac{R_N}{R_0} \right)} T_{KN} \quad (10.41)$$

gdje je:

T_K , Nm – moment torzije na spojci,

R_0 , Nm – torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$,

R_N , Nm – torzijska krutost pri nazivnom momentu spojke $T_K = T_{KN}$,

T_{KN} , Nm – nazivni moment spojke,

φ_K – kut uvijanja.

Moment torzije T_K približno se može dobiti izrazom (10.42), gdje konstanta α_K u pravilu ima manju vrijednost kod malih spojki ($\alpha_{Kstat} \approx 50$ do 200 , $\alpha_{Kdin} \approx 350$ do 3000), te kod velikih spojki veću vrijednost ($\alpha_{stat} \approx 150$ do 500 , $\alpha_{din} \approx 700$ do 10000).

$$T_K = R_0 (\varphi_K + \alpha_K \varphi_K^3) \quad (10.42)$$

gdje je:

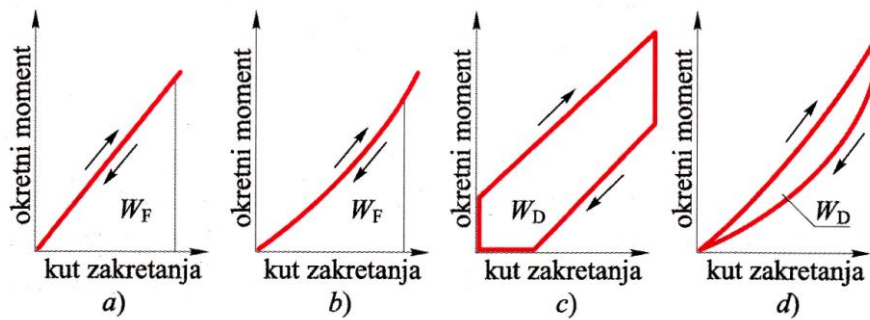
T_K , Nm – moment torzije na spojci,

R_0 , Nm – torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$,

φ_K – kut uvijanja,

α_K – konstanta.

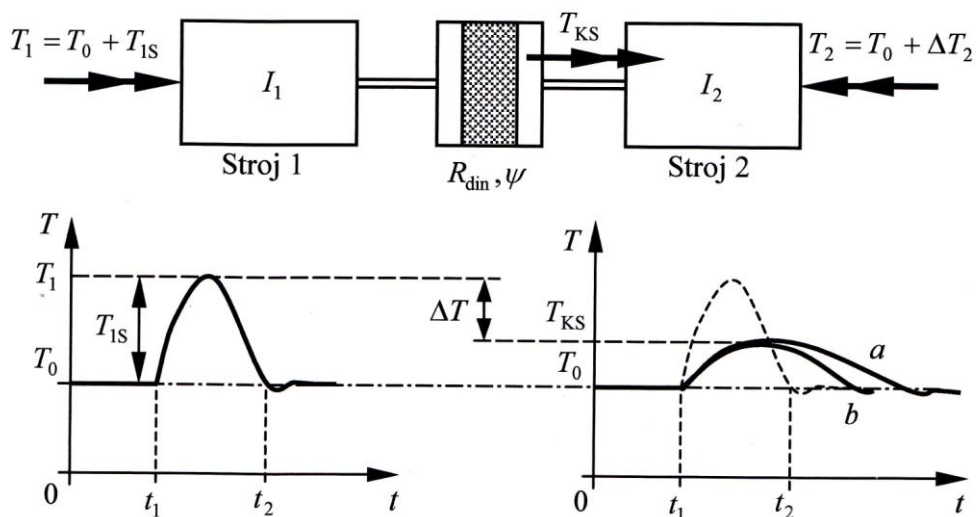
Među elastičnim spojkama treba razlikovati spojke koje energiju udara akumuliraju, da bi, nakon što se smanji opterećenje koje je izazvalo udar, vratile čitavu energiju, od onih koje jedan dio akumulirane energije udara pretvaraju u unutarnje trenje. Na slici 10.12. su prikazane karakteristike okretno elastičnih spojki. Spojke koje akumuliraju energiju udara kažemo da ublažavaju udarce, a one koje pretvaraju dio energije prigušuju udarce.



Slika 10.12. Karakteristike okretno elastičnih spojki

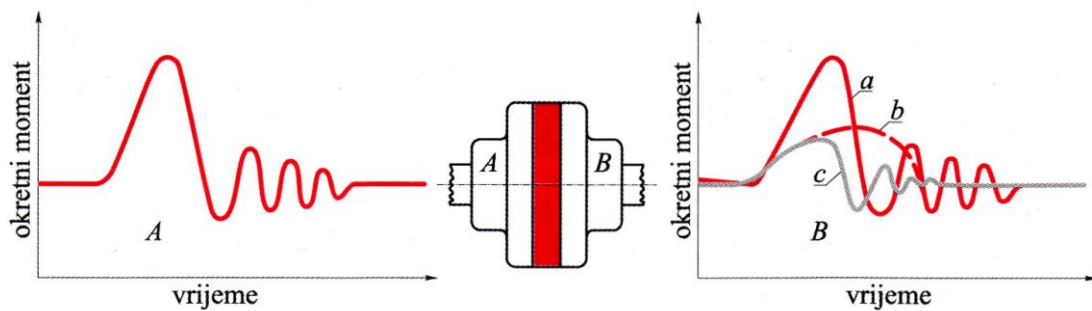
- a) akumulacijske s ravnom karakteristikom; b) akumulacijske sa zakrivljenom karakteristikom;
 c) prigušne s ravnom karakteristikom; d) prigušne sa zakrivljenom karakteristikom [5]

Slika 10.13. prikazuje kako se moment udara T_{IS} sa stroja 1 prenosi na stroj 2 i pri tome smanjuje za vrijednost ΔT . Krivulja *a* na slici 10.13. pokazuje ublažavanje udara akumuliranjem energije elastičnim elementima spojke. Pod ublažavanjem udara smatra se smanjivanje udarnog opterećenja produžavanjem njegovog trajanja. Kod prigušivanja udarno opterećenje je isto smanjeno, ali traje kraće nego kao čisto ublažavanje udarca. Prigušenje udara prikazano je na slici 10.13. krivuljom *b*. Kod ublažavanja udara važnu ulogu ima dinamička torzijska krutost R_{din} i zamašne mase, odnosno momenti inercije I_1 i I_2 strojeva 1 i 2. Što je zamašna masa I_1 stroja 1 veća to će se sporije prenositi energija akumulirana u elastičnom elementu spojke na stroj 2, te će tako i vrijednost prenesenog momenta T_{KS} biti razmjerno manja. Zamašna masa stroja 2 ublažava povratni udar, odnosno povratak energije u stroj 1 [1].



Slika 10.13. Djelovanje udara, *a* – ublažavanje udara, *b* – prigušenje udara [1]

Slika 10.14. prikazuje načine djelovanja raznih spojki.



Slika 10.14. Način djelovanja raznih spojki: A je pogonska strana; B gonjena strana; *a* - kruta spojka; *b* – spojka s akumulacijskim djelovanjem (smanjenje udara); *c* – spojka s prigušnim djelovanjem (prigušenje udara) [5]

Kada bi vratila strojeva 1 i 2 bila spojena krutom spojkom, tada bi pod djelovanjem momenta udara T_{1S} na strani stroja 1 (povećanja momenta T_0 na moment T_1) oba stroja imala jednako kutno ubrzanje [1]. Moment udara T_{1S} bi se rasporedio na moment ubrzanja T_{1A} stroja 1 uz pretpostavku da je $T_2 = T_0$, izraz (10.43), i moment ubrzanja T_{2A} stroja 2, izraz (10.44).

$$T_{1A} = I_1 \dot{\omega} \quad (10.43)$$

gdje je:

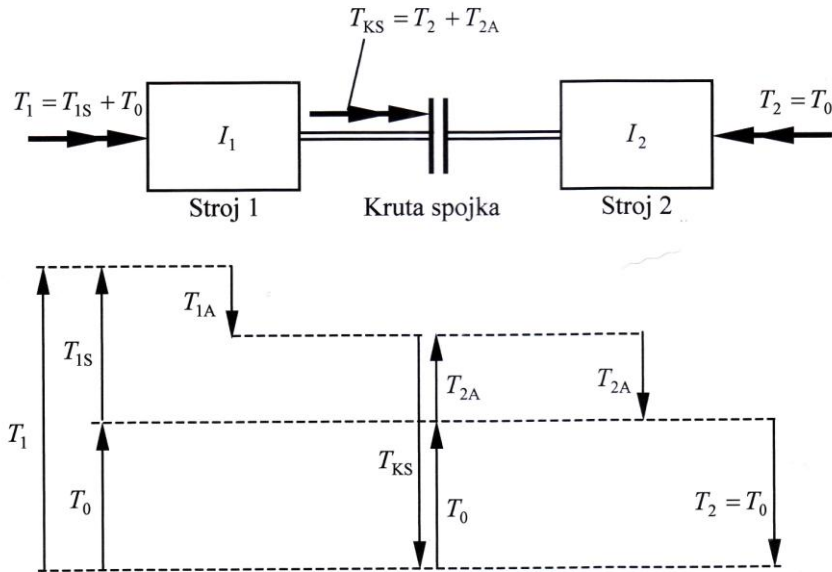
- T_{1A} , Nm – moment ubrzanja stroja 1,
- I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,
- $\dot{\omega}$, $1/\text{s}^2$ – kutno ubrzanje.

$$T_{2A} = I_2 \dot{\omega} \quad (10.44)$$

gdje je:

- T_{2A} , Nm – moment ubrzanja stroja 2,
- I_2 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2,
- $\dot{\omega}$, $1/\text{s}^2$ – kutno ubrzanje.

Dijagram momenata za krutu spojku je prikazan slikom 10.15.



Slika 10.15. Dijagram momenata za krutu spojku [1]

Zbrojem izraza (10.43) i (10.44) dobivamo izraz (10.45).

$$T_{1S} = T_{1A} + T_{2A} = (I_1 + I_2)\dot{\omega} \quad (10.45)$$

gdje je:

T_{1S} , Nm – moment udara stroja 1,

T_{1A} , Nm – moment ubrzanja stroja 1,

T_{2A} , Nm – moment ubrzanja stroja 2,

I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,

I_2 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2,

$\dot{\omega}$, $1/\text{s}^2$ – kutno ubrzanje.

Jednadžba (10.46) za izračun kutnog ubrzanja i jednadžba (10.47) za izračun ekvivalentnog momenta inercije.

$$\dot{\omega} = \frac{T_{1S}}{I_1 + I_2} \quad (10.46)$$

gdje je:

$\dot{\omega}$, $1/\text{s}^2$ – kutno ubrzanje,

T_{1S} , Nm – moment udara stroja 1,

I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,

I_2 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2.

$$I_e = \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \quad (10.47)$$

gdje je:

I_e , kgm^2 – ekvivalentni moment inercije strojeva 1 i 2,

I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,

I_2 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2.

Uvrštavanjem kutnog ubrzanja i ekvivalentnog momenta inercije u izraze (10.43) i (10.44) dobiju se jednadžbe (10.48) i (10.49).

$$T_{1A} = \frac{I_1}{I_1 + I_2} T_{1S} = \frac{I_e}{I_2} T_{1S} \quad (10.48)$$

$$T_{2A} = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_{1S} = \frac{I_e}{I_1} T_{1S} \quad (10.49)$$

Porast momenta na krutoj spojci bio bi jednak momentu T_{2A} , pa bi spojka bila opterećena momentom prikazanim izrazom (10.50).

$$T_{KS} = T_0 + T_{2A} \quad (10.50)$$

gdje je:

T_{KS} , Nm – vršni moment na spojci,

T_0 , Nm – statička komponenta momenta,

T_{2A} , Nm – moment ubrzanja stroja 2.

Povezuje li strojeve 1 i 2 elastična spojka, najveći porast momenta na spojci izračunao bi se pomoću jednadžbe (10.51), a ukupni moment jednadžbom (10.52). Konstanta $S_1 \geq 1$ zove se faktor udara.

$$T_{S1} = T_{2A}S_1 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_{1S}S_1 = \frac{I_e}{I_1} T_{1S}S_1 \quad (10.51)$$

gdje je:

T_{S1} , Nm – najveći porast momenta na spojci uslijed djelovanja momenta T_{1S} ,

T_{2A} , Nm – moment ubrzanja stroja 2,

S_1 – faktor udara za udarno opterećenje od stroja 1,

I_2 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2,

I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,

T_{1S} , Nm – moment udara stroja 1,

I_e , kgm^2 – ekvivalentni moment inercije strojeva 1 i 2.

$$T_{KS} = T_0 + T_{S1} \quad (10.52)$$

gdje je:

T_{KS} , Nm – vršni moment na spojci,

T_0 , Nm – statička komponenta momenta,

T_{S1} , Nm – najveći porast momenta na spojci uslijed djelovanja momenta T_{1S} .

Jednadžbom (10.53) se definira faktor smanjenja udarnog opterećenja pa smanjenje ΔT momenta udara T_{1S} iznosi (10.54).

$$f_{su} = \frac{T_{S1}}{T_{1S}} = \frac{I_2}{I_1 + I_2} S_1 = \frac{I_e}{I_1} S_1 \quad (10.53)$$

gdje je:

f_{su} – faktor smanjenja udarnog opterećenja,

T_{S1} , Nm – najveći porast momenta na spojci uslijed djelovanja momenta T_{1S} ,

T_{1S} , Nm – moment udara stroja 1,

I_2 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2,

I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,

S_1 – faktor udara za udarno opterećenje od stroja 1,

I_e , kgm^2 – ekvivalentni moment inercije strojeva 1 i 2.

$$\Delta T = T_{1S} - T_{S1} = (1 - f_{su})T_{1S} \quad (10.54)$$

gdje je:

ΔT , Nm – smanjenje momenta udara,

T_{1s} , Nm – moment udara stroja 1,

T_{s1} , Nm – najveći porast momenta na spojci uslijed djelovanja momenta T_{1s} ,

f_{su} – faktor smanjenja udarnog opterećenja.

Kod prigušenja udara dio mehaničke energije se pretvara u toplinsku energiju. Prigušna sposobnost se prosuđuje faktorom prigušenja (relativnim prigušenjem) koji se izračunava jednadžbom (10.55).

$$\psi = \frac{A_{gub}}{A_{def}} \quad (10.55)$$

Gdje je:

ψ – faktor prigušenja,

A_{gub} , J – mehanička energija pretvorena u toplinu,

A_{def} , J – deformacijska energija spojke.

Spojka s akumulacijskim djelovanjem ima relativno prigušenje gotovo jednako nuli, a spojke s prigušenjem imaju relativno prigušenje manje od 1.

10.4.1. Smanjivanje oscilacija momenta elastičnih spojki

Pretpostavimo da moment T_1 koji proizvodi stroj 1 prikazan formulom (10.56), ima statičku komponentu T_0 i periodičnu dinamičku komponentu amplitude T_{1w} s kružnom frekvencijom Ω_1 .

$$T_1 = T_0 + T_{1w} \sin(\Omega_1 t) \quad (10.56)$$

gdje je:

T_1 , Nm – moment stroja 1,

T_0 , Nm – statička komponenta momenta,

T_{1w} , Nm – vibracijski moment prenesen na spojku sa stroja 1,

Ω_1 , s⁻¹ – kružna frekvencija pobude na stroju 1,

t , s – vrijeme.

Moment na elastičnoj spojci T_K prikazan je formulom (10.57), ima statičku komponentu T_0 kao i moment T_1 , a te periodičku dinamičku komponentu T'_W s kružnom frekvencijom Ω_1 i faznim pomakom f_1 . To je moment koji spojka prenosi na stroj 2.

$$T_K = T_0 + T'_W \sin(\Omega_1 t + f_1) \quad (10.57)$$

gdje je:

- T_K , Nm – moment torzije na spojci,
- T_0 , Nm – statička komponenta momenta,
- T'_W , Nm – amplituda oscilacija momenta,
- Ω_1 , s^{-1} – kružna frekvencija pobude na stroju 1,
- t , s – vrijeme,
- f_1 – fazni pomak.

Amplituda oscilacija momenta T'_W na spojci nastala djelovanjem pobudnih oscilacija momenta amplitude T_{1W} može se odrediti iz izraza (10.58).

$$T'_W = T_{1W} \frac{I_e}{I_1} \Phi(\Omega_1) \quad (10.58)$$

gdje je:

- T'_W , Nm – amplituda oscilacija momenta
- T_{1W} , Nm – vibracijski moment prenesen na spojku sa stroja 1,
- I_e , kgm^2 – ekvivalentni moment inercije strojeva 1 i 2,
- I_1 , kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1,
- $\Phi(\Omega_1)$ – faktor prijenosa.

Faktor prijenosa određen je izrazom (10.59).

$$\Phi(\Omega_1) = \frac{1 + \left(\frac{\psi}{2\pi}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\Omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\psi}{2\pi}\right)^2}} \quad (10.59)$$

gdje je:

- $\Phi(\Omega_1)$ – faktor prijenosa,
- ψ – faktor prigušenja,

$\Omega, \text{ s}^{-1}$ – kružna frekvencija,
 $\Omega_0, \text{ s}^{-1}$ – rezonantna kružna frekvencija.

Rezonantna kružna frekvencija se računa izrazom (10.60).

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{R_{din}}{I_s}} \quad (10.60)$$

gdje je:

$\Omega_0, \text{ s}^{-1}$ – rezonantna kružna frekvencija,
 $R_{din}, \text{ Nm}$ – dinamička torzijska krutost,
 $I_e, \text{ kgm}^2$ – ekvivalentni moment inercije strojeva 1 i 2.

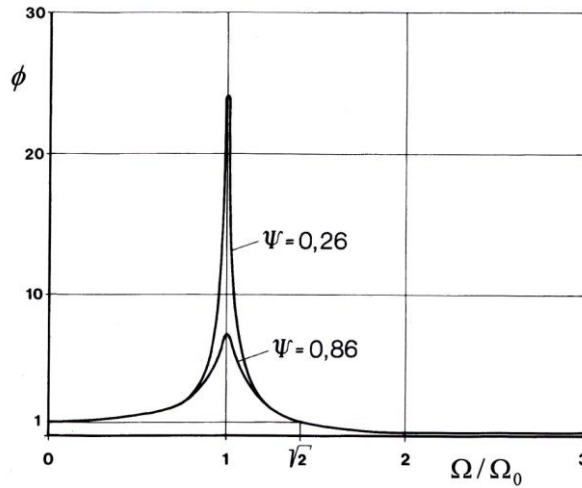
Dinamička torzijska krutost R_{din} za spojke s linearnom karakteristikom je konstanta pa je tada i rezonantna frekvencija Ω_0 konstantna. Dijagram faktora prijenosa $\Phi(\Omega)$ ima izgled prikazan slikom 10.16. U području $0 < \Omega < \sqrt{2} \Omega_0$ faktor prijenosa ima vrijednost veću od jedinice, što ukazuje na pojačanje pobudnih oscilacija. Da bi došlo do smanjivanja oscilacija kružna frekvencija mora biti $\Omega > \sqrt{2} \Omega_0$. Tu započinje radno područje elastične spojke. Smanjenje oscilacija je u radnom području je veće ako u spojci nema prigušenja. Nedovoljno prigušenje ili odsustvo prigušenja stvara drugu vrstu problema vezanih za pojavu rezonancije. Ako se kružna frekvencija veznih elemenata Ω_0 poklapa s kružnom frekvencijom pobudnih oscilacija momenta, dolazi do pojave rezonancije [1]. Faktor prijenosa ima najveću vrijednost i dobije se jednadžbom (10.61).

$$\Phi(\Omega_0) = \frac{\sqrt{(2\pi)^2 + \psi^2}}{\psi} \quad (10.61)$$

gdje je:

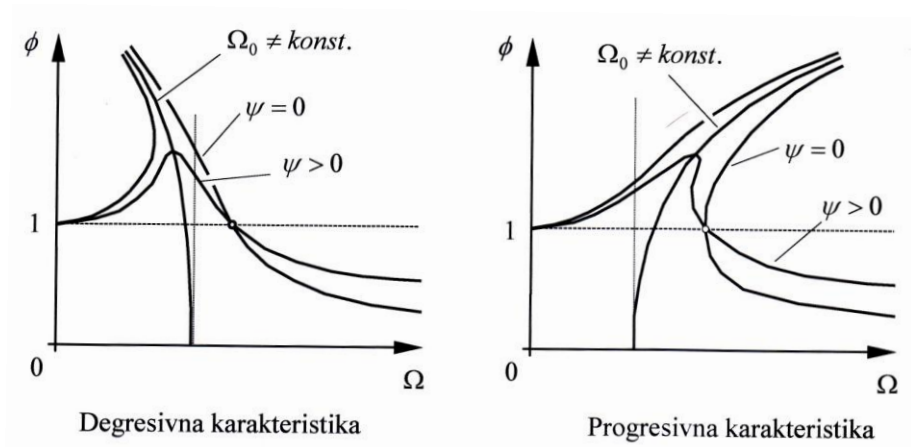
$\Phi(\Omega_0)$ –faktor prijenosa,
 ψ – faktor prigušenja.

Rezonancija kod spojki s linearnom karakteristikom može uzrokovati veliki porast amplitude oscilacija, ograničenog samo prigušivanjem i elastičnom elementu spojke. Na slici 10.16. je prikazana usporedba faktora prijenosa za različite faktore prigušenja.



Slika 10.16. Usporedba faktora prijenosa Φ za $\psi = 0,26$ i $0,86$ [1]

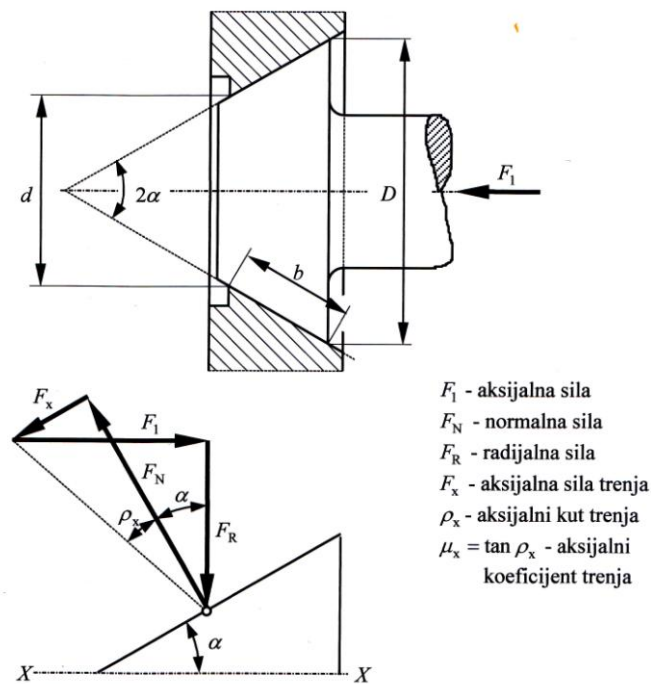
Zbog toga su pogodnije spojke s nelinearnom karakteristikom prikazane na slici 10.17. Kod spojke s nelinearnom karakteristikom s povećanjem amplitude oscilacija mijenja se i dinamička torzijska krutost R_{din} , a s njom i rezonantna frekvencija Ω_0 , spojni elementi izlaze iz rezonancije, pa prestaje daljnji porast amplitude oscilacija. Pretežno se koriste spojke s progresivnom karakteristikom.



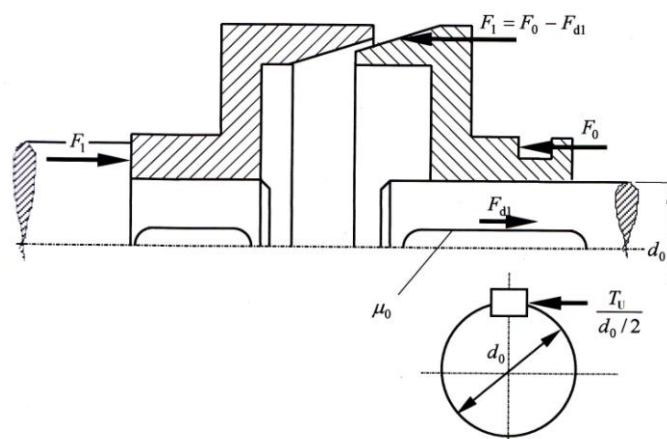
Slika 10.17. Faktora prijenosa Φ za spojke s nelinearnom karakteristikom [1]

10.5. Proračun tarne spojke

Stožaste tarne spojke prenose moment torzije trenjem. Sila trenja ostvaruje se djelovanjem aksijalne sile F_1 , koja je zajedno sa silom F_R u ravnoteži s parom sila F_X i F_N . Na slici 10.18. i 10.19. prikazane su dimenzije i sile na stožastoj tarnoj spojki. Proračun tarnih spojki prema [1] prikazan je formulama (10.62) do (10.81).



Slika 10.18. Dimenzije i sile na stožastoj tarnoj spojki [1]



Slika 10.19. Sile na stožastoj tarnoj spojki [1]

Ravnoteža sila može se odrediti jednadžbom (10.62).

$$F_1 - F_N \sin \alpha - F_X \cos \alpha = 0 \quad (10.62)$$

gdje je:

F_1 , N – aksijalna sila,

F_N , N – normalna sila,

F_X , N – aksijalna sila trenja,

α – polovina kuta u vrhu stošca.

Uvrštavanjem aksijalne sile trenja koja je prikazana izrazom (10.63) dobije se ovisnost normalne sile F_N o sili F_1 što je prikazano izrazom (10.64).

$$F_X = \mu_X F_N \quad (10.63)$$

gdje je:

F_X , N – aksijalna sila trenja,

μ_X – aksijalni faktor trenja,

F_N , N – normalna sila.

$$F_N = \frac{F_1}{\sin \alpha + \mu_X \cos \alpha} \quad (10.64)$$

gdje je:

F_N , N – normalna sila,

F_1 , N – aksijalna sila,

μ_X – aksijalni faktor trenja,

α – polovina kuta u vrhu stošca.

Površina dodira može se izračunati iz izraza (10.65).

$$A_1 = \frac{\pi}{\sin \alpha} \cdot \frac{D^2 - d^2}{4} = \frac{\pi}{\sin \alpha} \cdot \frac{D - d}{2} \cdot \frac{D + d}{2} \quad (10.65)$$

gdje je:

$A_1, \text{ m}^2$ – površina dodira,

α – polovina kuta u vrhu stošca,

$D, \text{ m}$ – vanjski promjer površine dodira,

$d, \text{ m}$ – unutarnji promjer površine dodira.

Uvrštavanjem širine $b, \text{ m}$, koja se dobije formulom (10.66) i srednjeg promjera $d_m, \text{ m}$, koji se dobije formulom (10.67)

$$b = \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{D - d}{2} \quad (10.66)$$

$$d_m = \frac{D + d}{2} \quad (10.67)$$

dobije se izraz (10.68) za jednostavnije izračunavanje površine dodira.

$$A_1 = \pi d_m b \quad (10.68)$$

gdje je:

$A_1, \text{ m}^2$ – površina dodira,

$d_m, \text{ m}$ – srednji promjer površine dodira,

$b, \text{ m}$ – širina površine dodira.

Pritisak na površinu dodira dobije se jednadžbom (10.69).

$$p = \frac{F_N}{A_1} = \frac{F_1}{A_1} \cdot \frac{1}{\sin \alpha + \mu_x \cos \alpha} = p_1 k_{\tau 1} \quad (10.69)$$

gdje je:

$p, \text{ N/m}^2$ – pritisak na površini dodira,

$F_N, \text{ N}$ – normalna sila,

$A_1, \text{ m}^2$ – površina dodira,

$F_1, \text{ N}$ – aksijalna sila,

α – polovina kuta u vrhu stošca,
 μ_X – aksijalni faktor trenja,
 $p_1, \text{N/m}^2$ – aksijalni pritisak,
 k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku.

Aksijalni pritisak p_1 računa se pomoću formule (10.70), a korekcijski faktor k_{T1} dobije se jednadžbom (10.71).

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1 \sin \alpha} \quad (10.70)$$

gdje je:

$p_1, \text{N/m}^2$ – aksijalni pritisak,
 F_1, N – aksijalna sila,
 A_1, m^2 – površina dodira,
 α – polovina kuta u vrhu stošca.

$$k_{T1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha + \mu_X \cos \alpha} \quad (10.71)$$

gdje je:

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,
 α – polovina kuta u vrhu stošca,
 μ_X – aksijalni faktor trenja.

Da ne dođe do zaklinjenja spojke kut α mora biti veći od $12,5^\circ$, to jest $\tan \alpha > \mu_X$. Obično kut α iznosi od 20° do 25° . Obodna sila trenja klizanja F_T na promjeru d_m pri uključenju spojke dobije se izrazom (10.72).

$$F_T = \mu p A_1 = \mu k_{T1} p_1 A_1 \quad (10.72)$$

gdje je:

F_T, N – obodna sila trenja klizanja,
 μ – faktor trenja,
 $p, \text{N/m}^2$ – pritisak na površini dodira,
 A_1, m^2 – površina dodira,
 k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,
 $p_1, \text{N/m}^2$ – aksijalni pritisak.

Moment koji prenosi spojka prilikom uključivanja dobije se jednadžbom (10.73) i naziva se uključnim momentom tarne spojke.

$$T_U = F_T \frac{d_m}{2} \quad (10.73)$$

gdje je:

T_U , Nm – uključni moment spojke,

F_T , N – obodna sila trenja klizanja,

d_m , m – srednji promjer površine dodira.

Uključni moment tarne spojke također se može dobiti i izrazom (10.74) ili (10.75).

$$T_U = \mu k_{T1} \frac{F_1}{\sin \alpha} \cdot \frac{d_m}{2} \quad (10.74)$$

gdje je:

T_U , Nm – uključni moment spojke,

μ – faktor trenja,

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,

F_1 , N – aksijalna sila,

α – polovina kuta u vrhu stošca,

d_m , m – srednji promjer površine dodira.

$$T_U = \mu k_{T1} p_1 A_1 \frac{d_m}{2} \quad (10.75)$$

gdje je:

T_U , Nm – uključni moment spojke,

μ – faktor trenja,

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,

p_1 , N/m² – aksijalni pritisak.

A_1 , m² – površina dodira,

d_m , m – srednji promjer površine dodira.

Potrebno je odrediti potrebnu potisnu silu F_0 za zadanu silu F_1 što je prikazano izrazom (10.76).

$$F_0 = F_1 + F_{d1} \quad (10.76)$$

gdje je:

F_0 , N – potisna sila,

F_1 , N – aksijalna sila,

F_{d1} , N – aksijalna sila trenja u potisnom mehanizmu tarne spojke.

Sila trenja u potisnom mehanizmu dobije se izrazom (10.77), pa potrebna potisna sila F_0 se onda može dobiti jednadžbom (10.78) gdje je μ_0 aksijalni koeficijent trenja u potisnom mehanizmu.

$$F_{d1} = \mu_0 \frac{2T_U}{d_0} = \mu_0 \mu \frac{k_{T1}}{\sin \alpha} \cdot \frac{d_m}{d_0} F_1 \quad (10.77)$$

gdje je:

F_{d1} , N – aksijalna sila trenja u potisnom mehanizmu tarne spojke,

μ_0 – aksijalni faktor trenja u potisnom mehanizmu,

T_U , Nm – uključni moment spojke,

d_0 , m – promjer vratila,

μ – faktor trenja,

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,

α – polovica kuta u vrhu stošca,

d_m , m – srednji promjer površine dodira,

F_1 – aksijalna sila.

$$F_0 = \left(1 + \mu_0 \mu \frac{k_{T1}}{\sin \alpha} \cdot \frac{d_m}{d_0} \right) F_1 \quad (10.78)$$

gdje je:

F_0 , N – potisna sila,

μ_0 – aksijalni faktor trenja u potisnom mehanizmu,

μ – faktor trenja,

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,

α – polovica kuta u vrhu stošca,

d_m , m – srednji promjer površine dodira,

d_0 , m – promjer vratila,

F_1 , N – aksijalna sila.

Prikladno je uvesti pomoćnu konstantu prikazanu izrazom (10.79), te je onda za potisnu silu F_1 formula (10.80).

$$a_0 = 1 + \mu_0 \mu \frac{k_{T1}}{\sin \alpha} \cdot \frac{d_m}{d_0} \quad (10.79)$$

gdje je:

a_0 – pomoćna konstanta

μ_0 – aksijalni faktor trenja u potisnom mehanizmu,

μ – faktor trenja,

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,

α – polovica kuta u vrhu stošca,

d_m, m – srednji promjer površine dodira,

d_0, m – promjer vratila.

$$F_0 = a_0 F_1 \quad (10.80)$$

gdje je:

F_0, N – potisna sila,

a_0 – pomoćna konstanta

F_1, N – aksijalna sila.

Uključni moment spojke za zadanu potisnu silu dobije se izrazom (10.81).

$$T_U = \mu \frac{k_{T1}}{a_0} \cdot \frac{F_0}{\sin \alpha} \cdot \frac{d_m}{2} \quad (10.81)$$

gdje je:

T_U, Nm – uključni moment spojke,

μ – faktor trenja,

k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku,

a_0 – pomoćna konstanta,

F_0, N – potisna sila,

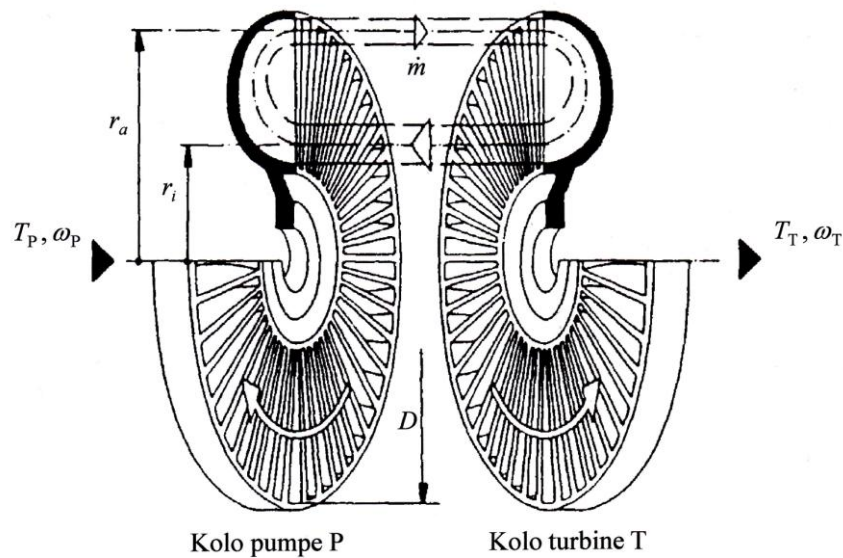
α – polovica kuta u vrhu stošca,

d_m, m – srednji promjer površine dodira.

Pločaste tarne spojke se računaju isto kao i stožaste tarne spojke samo što se u navedene izraze uvrsti kut $\alpha = 90^\circ$.

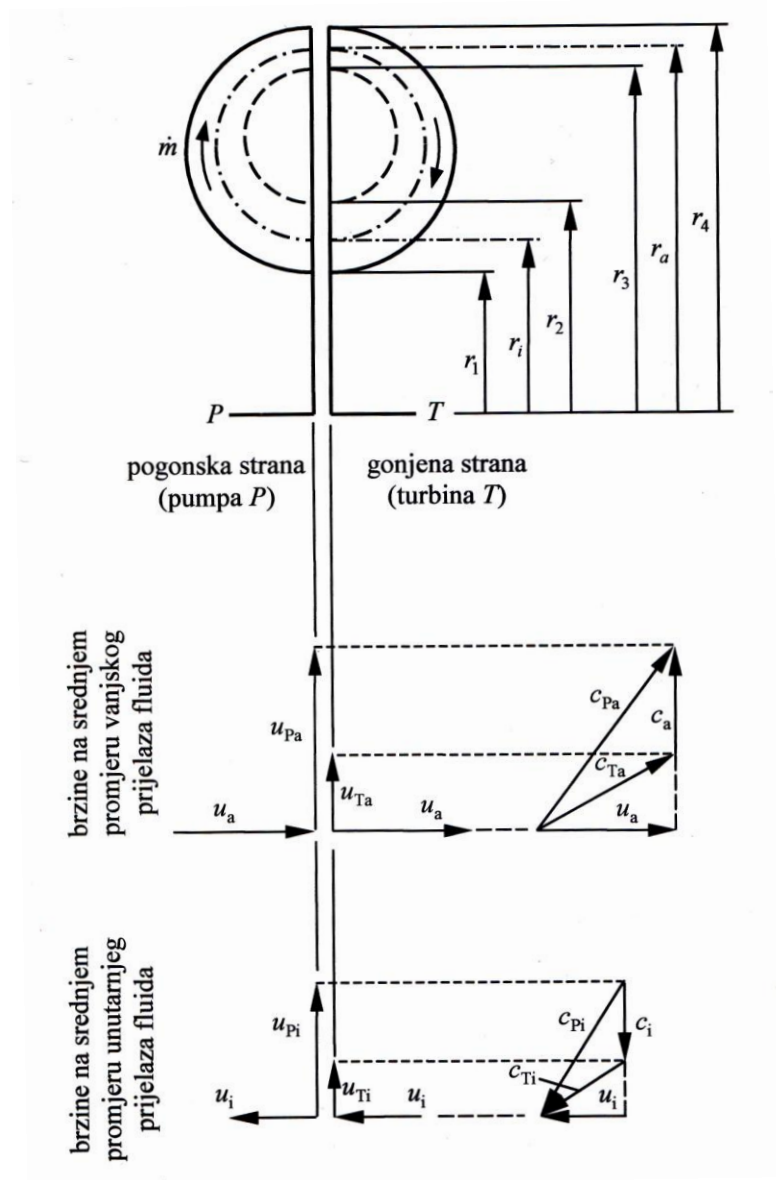
10.6. Proračun hidrodinamičke spojke

Proračun hidrodinamičke spojki prema [1] prikazan je formulama (10.82) do (10.106). Strujanje radnog fluida u hidrodinamičkoj spojci je prikazano slikom 10.20.



Slika 10.20. Model strujanja radnog fluida u hidrodinamičkoj spojci [1]

Na kolo pumpe P djeluje pogonski stroj momentom T_P . Kolo pumpe P se vrti brzinom ω_P . Djelovanjem centrifugalne sile fluid struji iz kola pumpe P u kolo turbine T, predaje kolu turbine kinetičku energiju te se vraća natrag u kolo pumpe P. Pri tome u turbini T nastaje moment T_T koji okreće kolo turbine kutnom brzinom ω_T . Maseni protok fluida je označen s \dot{m} . Maseni protok je masa fluida koja u jedinici vremena prelazi iz pumpe P u turbinu T i natrag. Karakteristične dimenzije hidrodinamičke spojke i brzine radnog fluida prikazane su na slici 10.21.



Slika 10.21. polumjeri i brzine kod hidrodinamičke spojke [1]

Srednji polumjer vanjskog prijelaza fluida dobijemo izrazom (10.82), a srednji polumjer unutarnjeg prijelaza fluida dobijemo izrazom (10.83).

$$r_a = \frac{2r_4^3 - r_3^3}{3r_4^2 - r_3^2} \quad (10.82)$$

$$r_i = \frac{2r_2^3 - r_1^3}{3r_2^2 - r_1^2} \quad (10.83)$$

gdje su:

- r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,
- r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,
- r_1 , m – donji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,
- r_2 , m – gornji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,
- r_3 , m – donji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,
- r_4 , m – polumjer hidrodinamičke spojke.

Brzine lopaticama pumpe P i turbine T na polumjeru r_a dobiju se formulama (10.84) i (10.85).

$$u_{Pa} = \omega_P r_a \quad (10.84)$$

gdje je:

- u_{Pa} , m/s – brzina lopatica pumpe na polumjeru r_a ,
- ω_P , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe,
- r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu.

$$u_{Ta} = \omega_T r_a \quad (10.85)$$

gdje je:

- u_{Ta} , m/s – brzina lopatica turbine na polumjeru r_a ,
- ω_T , s⁻¹ – kutna brzina kola turbine,
- r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu.

Razlika između brzina lopatica c_a pumpe i turbine na polumjeru r_a dobije se izrazom (10.86).

$$c_a = u_{Pa} - u_{Ta} = (\omega_P - \omega_T) r_a \quad (10.86)$$

Uz definiciju klizanja s prikazanu izrazom (10.87) dobiva se razlika brzina lopatica pumpe i turbine na polumjeru r_a koja se računa izrazom (10.88).

$$s = 1 - \frac{\omega_T}{\omega_P} \quad (10.87)$$

$$c_a = s r_a \omega_p \quad (10.88)$$

Analogno tome razlika brzina lopatica c_i pumpe i turbine na polumjeru r_i može se dobiti jednadžbom (10.89).

$$c_i = s r_i \omega_p \quad (10.89)$$

Hidrodinamičke spojke imaju kolo pumpe i kolo turbine, pa za zbroj momenata vrijedi $T_P + T_T = 0$. Moment T_P po veličini je jednak momentu T_T : $T = T_P = - T_T$. Sukladno Eulerovoj jednadžbi protoka u turbinama, moment koji prenosi hidrodinamička spojka može se izračunati jednadžbom (10.90).

$$T = \dot{m}(r_a c_a - r_i c_i) \quad (10.90)$$

gdje je:

T , Nm – moment torzije,

\dot{m} , kg/s - maseni protok,

r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,

c_a , m/s – razlika brzina kola pumpe i kola turbine na polumjeru r_a ,

r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,

c_i , m/s – razlika brzina kola pumpe i kola turbine na polumjeru r_i .

Uvrštavanjem izraza (10.88) i (10.89) dobiva se jednadžba (10.91).

$$T = s \dot{m}(r_a^2 - r_i^2) \omega_p \quad (10.91)$$

gdje je:

T , Nm – moment torzije,

s – klizanje,

\dot{m} , kg/s - maseni protok,

r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,

r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,

ω_p , s^{-1} – kutna brzina kola pumpe.

Maseni protok \dot{m} proporcionalan je masi m aktivnog fluida i kutnoj brzini kola pumpe ω_p . Računa se jednadžbom (10.92).

$$\dot{m} = k_1 m \omega_p \quad (10.92)$$

gdje je:

- \dot{m} , kg/s - maseni protok,
- k_1 – faktor proporcionalnosti,
- m , kg – masa aktivnog fluida,
- ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

Pa iznos momenta koji prenosi hidrodinamička spojka može se dobiti izrazom (10.93).

$$T = k_1 \left(1 - \frac{r_i^2}{r_a^2} \right) s \cdot m \cdot r_a^2 \cdot \omega_p^2 \quad (10.93)$$

gdje je:

- T , Nm – moment torzije,
- k_1 – faktor proporcionalnosti,
- r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,
- r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,
- s – klizanje,
- m , kg – masa aktivnog fluida,
- ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

Faktor k_1 ima vrijednost od 6 do 6,5 kad klizanje s ima vrijednost $s \leq 10\%$. Razlika brzina kola pumpe i turbine, odnosno klizanje s se podešava automatski prema mehaničkom opterećenju sustava. Kod prenošenja nazivnog momenta klizanje s obično ima vrijednost od 2% do 4%. Masa m aktivnog fluida jednaka je umnošku gustoće i volumena aktivnog fluida što je prikazano izrazom (10.94).

$$m = \rho V \quad (10.94)$$

gdje je:

- m , kg – masa aktivnog fluida,
- ρ , kg/m³ – gustoća fluida,
- V , m³ – volumen aktivnog fluida.

Volumen aktivnog fluida može se izračunati jednadžbom (10.95), kao umnožak stupnja punjena $\varepsilon \leq 1$ i volumena radnog prostora V_0 .

$$V = \varepsilon V_0 \quad (10.95)$$

gdje je:

$V, \text{ m}^3$ – volumen aktivnog fluida,

ε – stupanj punjenja,

$V_0, \text{ m}^3$ – volumen radnog prostora.

Volumen radnog prostora je općenito jednak volumenu torusa i računa se formulom (10.96).

$$V_0 = \frac{\pi(r_4 - r_1)^2}{4} \cdot \frac{\pi(r_4 + r_1)}{2} = \frac{\pi^2}{8} (r_4 - r_1)^2 (r_4 + r_1) \quad (10.96)$$

gdje je:

$V_0, \text{ m}^3$ – volumen radnog prostora,

$r_4, \text{ m}$ – polumjer hidrodinamičke spojke,

$r_1, \text{ m}$ – donji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu.

Aktivna masa fluida može se dobiti izrazom (10.97).

$$m = \varepsilon \rho V_0 = \rho \varepsilon \frac{\pi^2}{8} (r_4 - r_1)^2 (r_4 + r_1) \quad (10.97)$$

gdje je:

$m, \text{ kg}$ – masa aktivnog fluida,

ε – stupanj punjenja,

$\rho, \text{ kg/m}^3$ – gustoća fluida,

$V_0, \text{ m}^3$ – volumen radnog prostora,

$r_4, \text{ m}$ – polumjer hidrodinamičke spojke,

$r_1, \text{ m}$ – donji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu.

Uvođenjem faktora k_2 prikazan jednadžbom (10.98) gdje je $D = 2r_4$ (promjer spojke), dobiva se izraz (10.99) za aktivnu masu fluida.

$$k_2 = \varepsilon \frac{\pi^2 (r_4 - r_1)^2 (r_4 + r_1)}{8 D^3} \quad (10.98)$$

gdje je:

- k_2 – faktor proporcionalnosti,
- ε – stupanj punjenja,
- r_4 , m – polumjer hidrodinamičke spojke,
- r_1 , m – donji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,
- D , m – promjer spojke.

$$m = k_2 \rho D^3 \quad (10.99)$$

gdje je:

- m , kg – masa aktivnog fluida,
- k_2 – faktor proporcionalnosti,
- ρ , kg/m³ – gustoća fluida,
- D , m – promjer spojke.

Uvrštavanjem izraza (10.99) u (10.93) dobije se novi izraz (10.100) za moment T koji prenosi hidrodinamička spojka.

$$T = k_1 k_2 \left(\frac{r_a^2 - r_i^2}{D^2} \right) s \rho D^5 \omega_p^2 \quad (10.100)$$

gdje je:

- T , Nm – moment torzije,
- k_1 – faktor proporcionalnosti,
- k_2 – faktor proporcionalnosti,
- r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,
- r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,
- D , m – promjer spojke,
- s – klizanje,
- ρ , kg/m³ – gustoća fluida,
- ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

Uvođenjem bezdimenzijske karakteristike hidrodinamičke spojke $\lambda = \lambda(s, \varepsilon)$ prema izrazu (10.101) dobiva se pojednostavljeni izraz (10.102) za moment T .

$$\lambda = k_1 k_2 \left(\frac{r_a^2 - r_i^2}{D^2} \right) s \quad (10.101)$$

gdje je:

λ – karakteristika spojke,

k_1 – faktor proporcionalnosti,

k_2 – faktor proporcionalnosti,

r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu,

r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu,

D , m – promjer spojke,

s – klizanje.

$$T = \lambda \rho D^5 \omega_p^2 \quad (10.102)$$

gdje je:

T , Nm – moment torzije,

λ – karakteristika spojke,

ρ , kg/m³ – gustoća fluida,

D , m – promjer spojke,

ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

Snaga na kolu pumpe dobije se jednadžbom (10.103), odnosno jednadžbom (10.104).

$$P_p = T \omega_p \quad (10.103)$$

gdje je:

P_p , W – snaga na kolu pumpe,

T , Nm – moment torzije,

ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

$$P_p = \lambda \rho D^5 \omega_p^3 \quad (10.104)$$

gdje je:

- P_p , W – snaga na kolu pumpe,
- λ – karakteristika spojke,
- ρ , kg/m³ – gustoća fluida,
- D , m – promjer spojke,
- ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

Snaga na turbini hidrodinamičke spojke dobije se jednadžbom (10.105).

$$P_T = T \omega_T = T(1 - s) \omega_p \quad (10.105)$$

gdje je:

- P_T , W – snaga na kolu turbine,
- T , Nm – moment torzije,
- ω_T , s⁻¹ – kutna brzina kola turbine,
- s – klizanje,
- ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe.

Stupanj djelovanja hidrodinamičke spojke dobije se formulom (10.106)

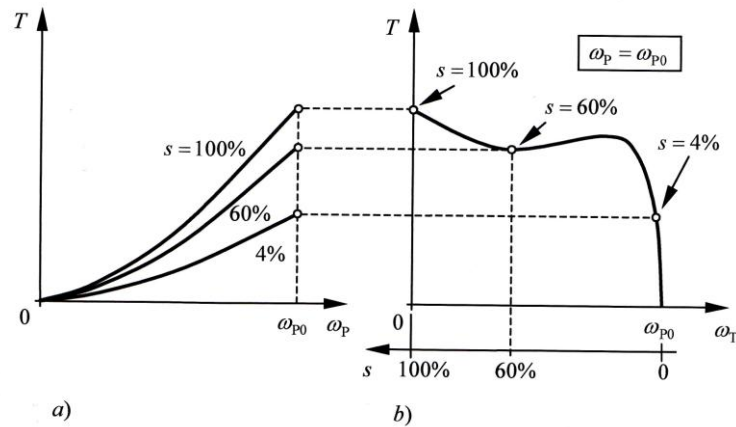
$$\eta = \frac{P_T}{P_p} = \frac{\omega_T}{\omega_p} = 1 - s \quad (10.106)$$

gdje je:

- η – stupanj djelovanja,
- P_T , W – snaga na kolu turbine,
- P_p , W – snaga na kolu pumpe,
- ω_T , s⁻¹ – kutna brzina kola turbine,
- ω_p , s⁻¹ – kutna brzina kola pumpe,
- s – klizanje.

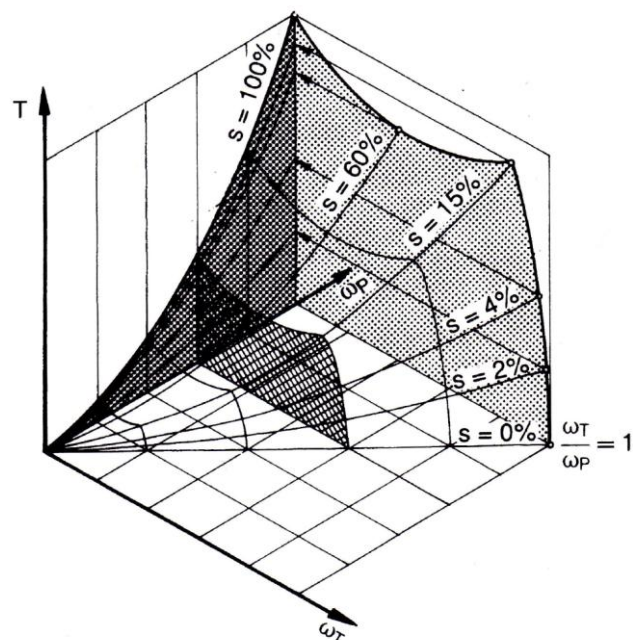
Slika 10.22. prikazuje ovisnost momenta T koji prenosi hidrodinamička spojka o kutnim brzinama ω_p , ω_T i klizanju s . Na slici 10.22. a) je prikazana ovisnost momenta T o kutnoj brzini

kola pumpe ω_P za različita klizanja s . Ta se ovisnost naziva primarnom karakteristikom hidrodinamičke spojke. Na slici 10.22. *b*) prikazana je sekundarna karakteristika hidrodinamičke spojke koja prikazuje ovisnost momenta T o kutnoj brzini kola turbine ω_T (ili o klizanju s) kada je kutna brzina kola pumpe ω_P jednaka konstanti ω_{P0} .



Slika 10.22. Ovisnost momenta T koji prenosi hidrodinamička spojka o kutnim brzinama ω_P ω_T i klizanju s , *a*) primarna karakteristika, *b*) sekundarna karakteristika [1]

Primarna i sekundarna karakteristika hidrodinamičke spojke prikazane su zajedno u trodimenzionalnom dijagramu na slici 10.23.



Slika 10.23. Prostorni dijagram ovisnosti momenta T koji prenosi hidrodinamička spojka o kutnim brzinama ω_P ω_T i klizanju s [1]

11. MATERIJALI ZA IZRADU SPOJKI

Spojke se izrađuju od materijala poput sivog lijeva i čelika. Sivi lijev ima povoljnu dinamičku čvrstoću, dobro podnosi i prigušuje udarce i tlačna čvrstoća mu je dobra. Mana sivog lijeva je vrlo niska vlačna čvrstoća i mali modul elastičnosti. Spojke se izrađuju od ugljičnih čelika ili legure čelika poput CrNi čelika ili CrMo čelika.

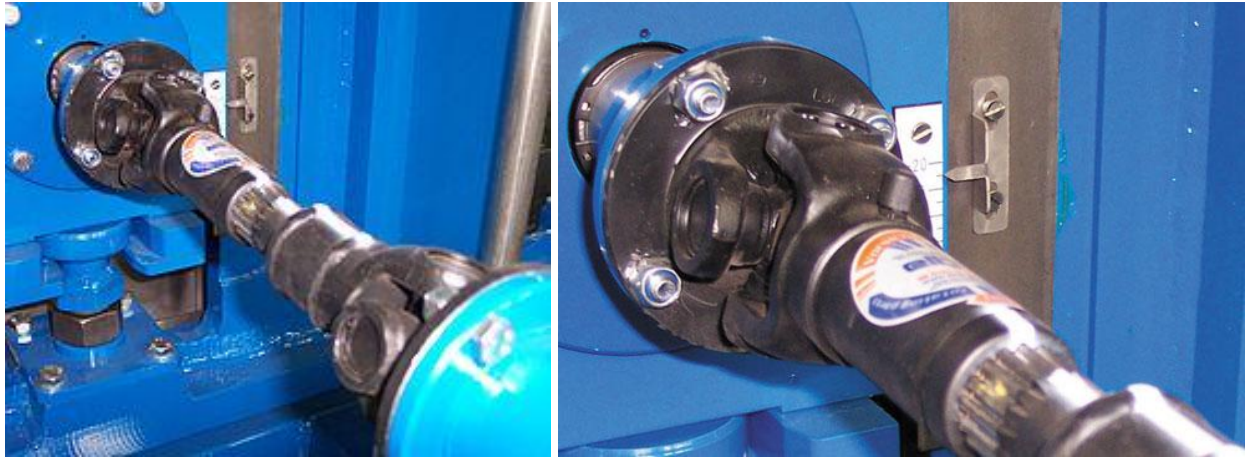
Kod elastičnih spojki između dvije metalne glavine spojke nalazi se elastični vezni element koji spaja te dvije glavine. Vezni element može biti: guma, koža, umjetna masa, tekstilne tkanine, čelične opruge. Najčešće se koriste izvedbe s gumom. Guma ima dobro svojstvo amortizacije udara i vibracija.

Tarne obloge za rad nasuho kod tarnih spojki najčešće su izrađene od prešanih pamučnih ili azbestnih vlakana, povezanih umjetnom smolom. Mogu biti izrađene i od čiste prešane umjetne smole. Kaljene čelične lamele kod tarnih spojki su uronjene u ulje ili se cirkulacijski podmazuju, a kod rada nasuho se oblažu umjetnom masom ili sinteriranom broncom.

Izbor materijala od kojih se izrađuju spojke odabiru se prema vrijednostima naprežanja elemenata spojke.

12. PRIMJERI PRIMJENE SPOJKI U MEHATRONICI

Primjena spojki je velika. Spojke se koriste kod vozila, radnih strojeva, spajanja elektromotora sa strojevima, tiskarskih strojeva, u robotici itd. Na slikama 12.1., 12.2., 12.3. i 12.4, su prikazani primjeri primjene kardanskog vratila. Slika 12.1. i 12.2. prikazuju kardansko vratilo koje povezuje pogon s valjcima.



Slika 12.1. i 12.2. kardansko vratilo povezuje pogon s valjcima [7]

Upotreba kardanskih vratila za spajanje elektromotora i valjaka u pogonu za proizvodnju papira prikazano je slikom 12.3.



Slika 12.3. Korištenje kardanskih vratila za spajanje elektromotora i valjaka u pogonu za proizvodnju papira [7]

Slika 12.4. prikazuje upotrebu kardanskog vratila u hidroelektranama.



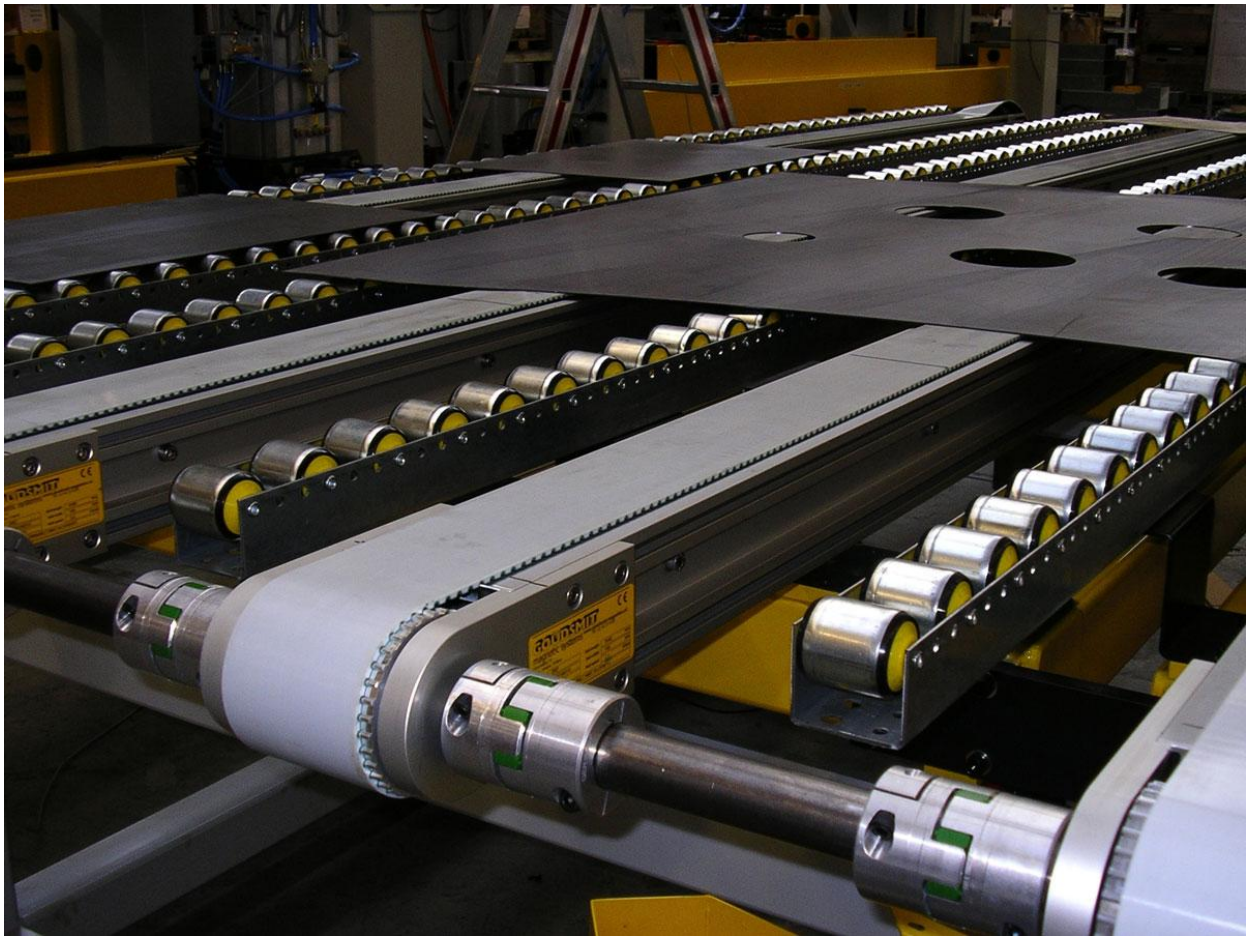
Slika 12.4. Upotreba kardanskog vratila u hidroelektranama [8]

Upotreba elastičnih spojki je prikazana na slikama 12.5., 12.6. i 12.7. Na slikama 12.5. se vide elastične kandžaste spojke koje spajaju trake za prijenos paleta.



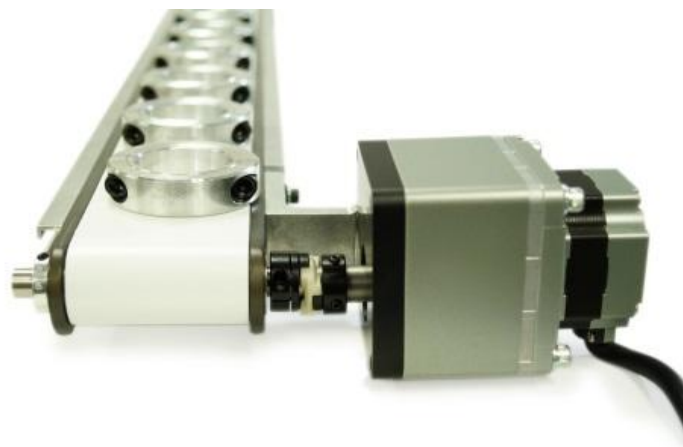
Slika 12.5. Upotreba elastične kandžaste spojke [9]

Na slici 12.6. su prikazane trake za prijenos metalnih ploča povezane elastičnom kandžastom spojkom.



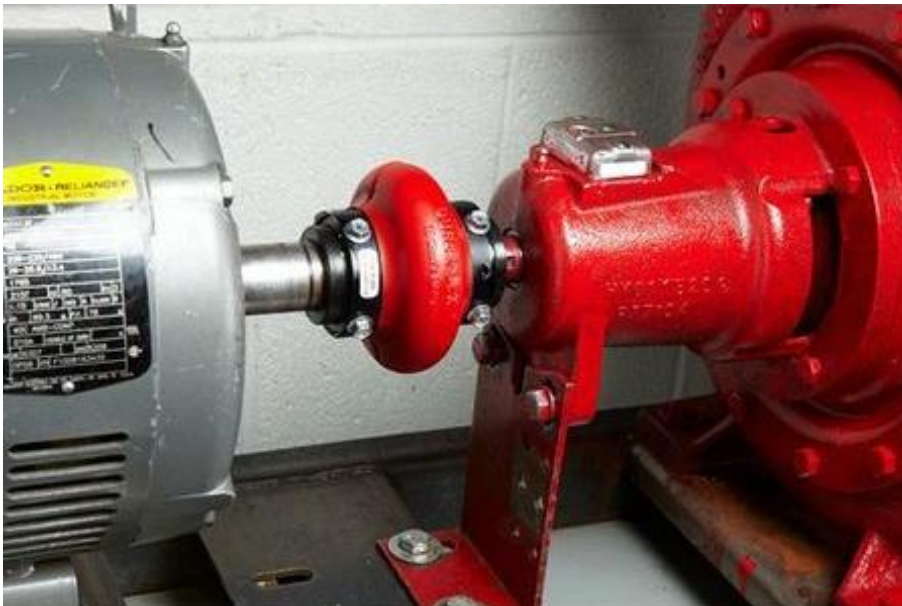
Slika 12.6. Upotreba elastične kandžaste spojke [9]

Slika 12.7. prikazuje primjer gdje je traka povezana s elektromotorom pomoću Oldhamove spojke.



Slika 12.7. Traka povezana s elektromotorom pomoću Oldhamove spojke [10]

Slika 12.8. prikazuje elektromotor spojen sa strojem pomoću elastične spojke s pojasom.



Slika 12.8. Elektromotor spojen sa strojem pomoću elastične spojke s pojasom [11]

Primjer korištenja Schmidtove spojke u tiskarskoj industriji prikazan je slikom 12.9.



Slika 12.9. upotreba Schmidtove spojke [12]

13. ZAKLJUČAK

Spojke su elementi koji povezuju dva vratila i prenose moment torzije s pogonskog na gonjeno vratilo. Cilj ovog rada je upoznavanje s vrstama spojki, materijalima od kojih se izrađuju, te osnovama proračuna. Postoje razne izvedbe spojki. Osim prenošenja momenta torzije pojedine vrste spojki imaju i dodatne funkcije kao naprimjer prilagodbu odstupanja osi vratila, prigušenje torzijskih vibracija, osiguravanje od preopterećenja, automatsko uspostavljanje ili prekidanje prenošenja momenta i tako dalje. Ovisno o funkciji spojke možemo podijeliti na: krute spojke, kompenzacijske spojke, elastične spojke i izvrstive spojke. U primjeni krute spojke su najjednostavnije i one kruto spajaju dva vratila. Kompenzacijske spojke omogućavaju međusobne pomake vratila. Pomaci vratila mogu biti uzdužni, poprečni, kutni te uzdužni i kutni. Elastične spojke elastično spajaju dva vratila. Sastoje se od dvije glavine povezane elastičnim elementom. Zadatak elastičnih spojki je prigušivanje vibracija, smanjivanjem oscilacija momenta torzije i smanjivanje udarnih opterećenja. Tarne spojke spadaju u vrstu izvrstivih spojki zbog mogućnosti spajanja i razdvajanja vratila u radu. Načini uključivanja spojki mogu biti: ručno, hidrauličko, pneumatsko i elektromagnetsko. Hidrodinamičke spojke sastoje se od kola pumpe i turbine koja se nalaze u istom kućištu. Prijenos momenta i snage kod hidrodinamičkih spojki je ostvaren uz minimalno trošenje dijelova spojki. U specijalne vrste spojki se ubrajaju spojke za upuštanje u rad, jednosmjerne spojke i sigurnosne spojke. Spojke za upuštanje u rad omogućavaju puštanje u rad pod velikim opterećenjima, pogonski strojevi dođu na približno pun broj okretaja prije nego ih optereti gonjeni stroj. Jednosmjerne spojke služe za prenošenje momenta torzije samo u jednom smjeru, a sigurnosne spojke štite od preopterećenja, koju mogu izazvati lomove ili oštećenja. Opisane su osnove proračuna spojki kojima se mogu izračunati momenti torzije, sile koje djeluju kod spojki i prikazane su karakteristike spojki. Opisani su i primjeri primjene spojki u mehatronici. Spojke imaju široku primjenu i ovisno o momentu i brzini vrtnje koji spojka može prenijeti i uz osnovnu dodatne funkcije koje spojka treba obavljati odabiremo prikladnu spojku.

14. LITERATURA

- [1] Obsieger B., Spojke, prvo izdanje: Zigo – Rijeka, Rijeka 2004.
- [2] Purković D., Salopek G. Osnove mehatronike, Zaklada Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2015.
- [3] Lazić L., Elementi strojeva, Metalurški fakultet u Sisku, Sisak 2001.
- [4] Grupa autora, Praktičar 3, str 374 – 408.
- [5] Karl – Henz Decker, Elementi strojeva, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [6] Tehnička enciklopedija, sv. 5, Zagreb, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1979.
- [7] <https://www.pruftechnik.com/solutions/applications/cardan-shaft-alignment.html>
(19.10.2017)
- [8] <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABSZAAJ/cardans-voith-631-pt-g830-pt-es>
(19.10.2017)
- [9] <https://www.mknorthamerica.com/> (19.10.2017)
- [10] <http://www.couplingtips.com/wp-content/uploads/2016/01/Ruland-Oldham-coupling-Re-sized-application-shot.jpg> (19.10.2017)
- [11] https://cloudfront.zoro.com/product/full/Z_t3uumcg.JPG (19.10.2017)
- [12] <https://www.abssac.co.uk/p/Schmidt+Couplings/Schmidt+Offset+Coupling/48/#.We2UH7Vx0dX> (19.10.2017)
- [13] Prof. dr. sc. Jelaska D. Elementi strojeva, Split, 2005. Dostupno na:
<https://bib.irb.hr/datoteka/321780.ES-skripta-760-kon.pdf> (7.9.2017)
- [14] Domazet Ž, Krustolović – Opara L. Skripta iz osnova strojarstva, Split 2006. Dostupno na:
https://bib.irb.hr/datoteka/761254.osnove_strojarstva.pdf (16.10.2017)

15. OZNAKE I KRATICE

a , m – razmak između ležajeva C i D

a_0 – pomoćna konstanta

A_1 , m² – površina dodira

A_{def} , J – deformacijska energija spojke

A_{gub} , J – mehanička energija pretvorena u toplinu

A_j , m² – presjek jezgre vijka

b , m – širina površine dodira

c_a , m/s – razlika brzina kola pumpe i kola turbine na polumjeru r_a

c_i , m/s – razlika brzina kola pumpe i kola turbine na polumjeru r_i

d , m – promjer jezgre vijka

D , m – promjer spojke

d , m – promjer vratila

d , m – unutarnji promjer površine dodira

d , m – vanjski promjer

D , m – vanjski promjer površine dodira

D_0 , m – promjer diobene kružnice

D_0 , m – promjer diobene kružnice vijaka

d_0 , m – promjer vratila

d_h , m – unutarnji promjer Hirthove spojke

D_h , m – vanjski promjer Hirthove spojke

d_j , m – promjer jezgre vijka

D_m , m – promjer kruga rupa za vijke

d_m , m – srednji promjer spojke

d_u , m – promjer vratila

e , m – poprečni razmak osi vratila

f – fazni pomak

F , N – vlačna sila

F_0 , N – obodna sila

F_0 , N – potisna sila

F_1 , N – aksijalna sila

f_1 – fazni pomak

F_1, N – najmanja vrijednost sile u ležajevima A i B
 F_{1m}, N – najveća vrijednost sile u ležajevima A i B
 F_C, N – sila u ležaju C
 F_{ce}, N – centrifugalna sila
 F_D, N – sila u ležaju D
 F_{d1}, N – aksijalna sila trenja u potisnom mehanizmu tarne spojke
 F_N, N – normalna sila
 f_{su} – faktor smanjenja udarnog opterećenja
 F_T, N – obodna sila trenja klizanja
 F_u, N – uzdužna sila
 F_X, N – aksijalna sila trenja
 h_y, m – visina profila zuba
 I_1, kgm^2 – moment inercije na strani stroja 1
 I_2, kgm^2 – moment inercije na strani stroja 2
 I_e, kgm^2 – ekvivalentni moment inercije strojeva 1 i 2
 I_m, kgm^2 – moment tromosti međuvratila
 itd. – i tako dalje
 k_1 – faktor proporcionalnosti
 k_2 – faktor proporcionalnosti
 k_{T1} – korekcijski faktor za stožastu i pločastu spojku
 L, m – dužina čahuraste spojke
 l, m – dužina spojnog elementa
 L_k, m – dužina međuvratila
 m, kg – masa aktivnog fluida
 $\dot{m}, \text{kg/s}$ – maseni protok
 m_0, kg – masa srednje ploče
 M_1, Nm – moment savijanja pogonskog vratila
 M_2, Nm – moment savijanja gonjenog vratila
 M_m, Nm – moment savijanja međuvratila
 M_o, Nm – moment okretanja
 $M_{o \max}, \text{Nm}$ – maksimalan moment
 M_s, Nm – moment spojke
 M_t, Nm – moment torzije

n , o/min – broj okretaja vratila
 npr. – naprimjer
 p , N/m² – pritisak na površini dodira
 P , W – snaga koja se prenosi
 p_1 , N/m² – aksijalni pritisak
 p_{dop} , N/m² – dopušteni specifični pritisak
 P_P , W – snaga na kolu pumpe
 P_T , W – snaga na kolu turbine
 r , m – radijus rotacije oko okomitog položaja
 R , Nm – torzijska krutost
 R_0 , Nm – torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$
 $R_{0\text{din}}$, Nm – dinamička torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$
 $R_{0\text{stat}}$, Nm – statička torzijska krutost pri momentu $T_K = 0$
 r_1 , m – donji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu
 r_1 , m – radijus rotacije kosog položaja
 r_2 , m – gornji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu
 r_3 , m – donji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu
 r_4 , m – polumjer hidrodinamičke spojke
 r_a , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz pumpe u turbinu
 R_{din} , Nm – dinamička torzijska krutost
 r_i , m – srednji polumjer prijelaza fluida iz turbine u pumpu
 R_N , Nm – torzijska krutost pri nazivnom momentu spojke $T_K = T_{KN}$
 $R_{N\text{din}}$, Nm – dinamička torzijska krutost pri nazivnom momentu spojke
 $R_{N\text{stat}}$, Nm – statička torzijska krutost pri nazivnom momentu spojke
 R_{stat} , Nm – statička torzijska krutost
 s – klizanje
 S_1 – faktor udara za udarno opterećenje od stroja 1
 sl. – slično
 T , Nm – moment torzije ili okretni moment
 t , s – vrijeme
 T_0 , Nm – statička komponenta momenta
 T_1 , Nm – moment pogonskog vratila
 T_1 , Nm – moment stroja 1

T_{1A} , Nm – moment ubrzanja stroja 1
 T_{1m} , Nm – moment na početku međuvratila
 T_{1S} , Nm – moment udara stroja 1
 T_{1W} , Nm – vibracijski moment prenesen na spojku sa stroja 1
 T_2 , Nm – moment gonjenog vratila
 T_{2A} , Nm – moment ubrzanja stroja 2
 T_{2m} , Nm – moment na kraju međuvratila
 T_A , Nm – moment ubrzanja
 T_K , Nm – moment torzije na spojci
 T_{KN} , Nm – nazivni moment spojke
 T_{KS} , Nm – vršni moment na spojci
 T_{S1} , Nm – najveći porast momenta na spojci uslijed djelovanja momenta T_{1S}
 T_U , Nm – uključni moment spojke
 T'_W , Nm – amplituda oscilacija momenta
 T_W , Nm – vibracijski moment torzije
 u_{Pa} , m/s – brzina lopatica pumpe na polumjeru r_a
 u_{Ta} , m/s – brzina lopatica turbine na polumjeru r_a
 V , m³ – volumen aktivnog fluida
 V_0 , m³ – volumen radnog prostora
 v'_A , m/s – obodna brzina točke A oko osi 1
 v''_A , m/s – obodna brzina točke A oko osi 2
 v'_B , m/s – obodna brzina točke B oko osi 1
 v''_B , m/s – obodna brzina točke B oko osi 2
 y – broj zubi
 z – broj vijaka
 α – kut nagiba
 α – polovica kuta u vrhu stošca
 α_1 – kut odstupanja
 α_2 – kut odstupanja
 α_K – konstanta
 γ – kut između vratila
 ΔK_r , m – poprečni pomak
 ΔT , Nm – smanjenje momenta udara

ε – stupanj punjenja
 η – stupanj djelovanja
 κ – faktor nejednolikosti
 λ – karakteristika spojke
 μ – faktor trenja
 μ_0 – aksijalni faktor trenja u potisnom mehanizmu
 μ_X – aksijalni faktor trenja
 ρ , kg/m^3 – gustoća fluida
 σ , N/m^2 – ukupno naprezanje
 σ_{dop} , N/m^2 – dopušteno naprezanje
 σ_p , N/m^2 – naprezanje na pritisak
 σ_{prit} , N/m^2 – naprezanje izazvano prethodnom silom prilikom pritezanja vijka
 σ_s , N/m^2 – naprezanje na savijanje
 $\sigma_{V \text{ dop}}$, N/m^2 – dopušteno vlačno naprezanje
 τ_s , N/m^2 – stvarno naprezanje na smik
 $\tau_{s \text{ dop}}$, N/m^2 – dopušteno naprezanje na smik
 φ – faktor nejednoličnosti ili faktor udara,
 φ – kut zakrenutosti
 Φ –faktor prijenosa
 φ_K – kut uvijanja
 ψ – faktor prigušenja
 Ω , s^{-1} – kružna frekvencija
 ω , s^{-1} – kutna brzina
 ω , $1/\text{s}^2$ – kutno ubrzanje
 ω_0 , s^{-1} – kutna brzina središta srednje ploče
 Ω_0 , s^{-1} – rezonantna kružna frekvencija
 Ω_1 , s^{-1} – kružna frekvencija pobude na stroju 1
 ω_1 , s^{-1} – kutna brzina pogonskog stroja
 ω_{1P} , s^{-1} – kutna brzina pogonske ploče
 ω_2 , s^{-1} – kutna brzina gonjenog stroja
 $\omega_{2\text{max}}$, s^{-1} – maksimalna kutna brzina gonjenog vratila
 $\omega_{2\text{min}}$, s^{-1} – minimalna kutna brzina gonjenog vratila
 ω_m , s^{-1} – kutna brzina međuvratila

$\omega_m, 1/s^2$ – kutno ubrzanje međuvratila

ω_p, s^{-1} – kutna brzina kola pumpe

ω_T, s^{-1} – kutna brzina kola turbine

16. SAŽETAK

Spojke služe za povezivanje dvaju vratila radi prenošenja momenta torzije. Spojke možemo podijeliti na krute spojke, kompenzacijske spojke, elastične spojke i uključno-isključne spojke. Krute spojke spajaju dva vratila i kruto prenose moment. Kompenzacijske spojke su spojke koje kruto prenose moment torzije, ali dopuštaju male poprečne, uzdužne i kutne pomake između vratila. Elastične spojke elastično prenose moment torzije, ublažavaju udare i prigušuju torzijske vibracije, a neke izvedbe dopuštaju manje uzdužne, poprečne i kutne pomake između vratila. Uključno-isključne spojke služe za spajanje i razdvajanje vratila tijekom rada stroja, u njih spadaju tarne spojke i elektromagnetske spojke. Hidrodinamičke spojke okretni moment prenose mlazom tekućine (ulja), a sastoje se od kola pumpe na pogonskoj, kola turbine na gonjenoj strani i zajedničkog kućišta. Specijalne izvedbe spojki imaju uz funkciju prenošenja momenta torzije dodatne funkcije kao što je sprječavanje dolaska do preopterećenja strojeva, vrtnje vratila u suprotnom smjeru ili mogu imati funkciju sigurnog upuštanja u rad. Opisane su osnove proračuna za spojke i materijali koji se koriste kod izrade spojki. Navedeni su primjeri primjene spojki.

Ključne riječi: spojka, moment torzije, krute spojke, kompenzacijske spojke, elastične spojke, tarne spojke, elektromagnetske tarne spojke, kardanski zglob, kardansko vratilo, hidrodinamičke spojke, specijalne spojke, sigurnosne spojke, centrifugalne spojke.

17. SUMMARY

Couplings are used for connecting two shafts and transfer torques in rotating systems. Couplings are organized in several categories such as rigid couplings, flexible couplings, torsionally elastic couplings, universal shaft couplings, on – off clutches. Rigid couplings connect two shafts and rigidly transmit torque. Compensating couplings are couplings what rigidly transmits torque, but allows small transversal, longitudinal and angular shifts between shafts. Elastic couplings elastically transfer torques, mitigate shocks and suppress torsional vibrations; some implementations allows small transversal, longitudinal and angular shifts between shafts. On - off clutches are used for connecting and disconnecting shafts during machine operation, in this kind of clutches belongs friction clutches and electromagnetic clutches. Hydrodynamic clutches transfer torques with a jet of fluid (oil), and it consists of pumps impeller on the drive side and turbine impeller on the driven side which are embedded in common housing. Special performance clutches have with function of transferring torques additional functions such as function of preventing the advent of overloading machines, preventing rotation of the shaft in opposite direction or function of safe engaging in work. The third part describes the basic calculations of couplings and materials used for manufacturing couplings. In addition there is a list of examples of the use of couplings in the mechatronics.

Keywords: coupling, torque, rigid coupling, compensation couplings, flexible couplings, torsionally elastic couplings, friction clutches, electromagnetic clutches, universal joint, universal shaft couplings, hydrodynamic clutches, special clutches, safety couplings, centrifugal couplings.

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>31. 10. 2017.</u>	Tomislav Lukčić	Tomislav Lukčić

Prema Odluci Visoke tehničke škole u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Visoke tehničke škole 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

Tomislav Lukčić

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, 31. 10. 2017.

Tomislav Lukčić
potpis studenta/ice