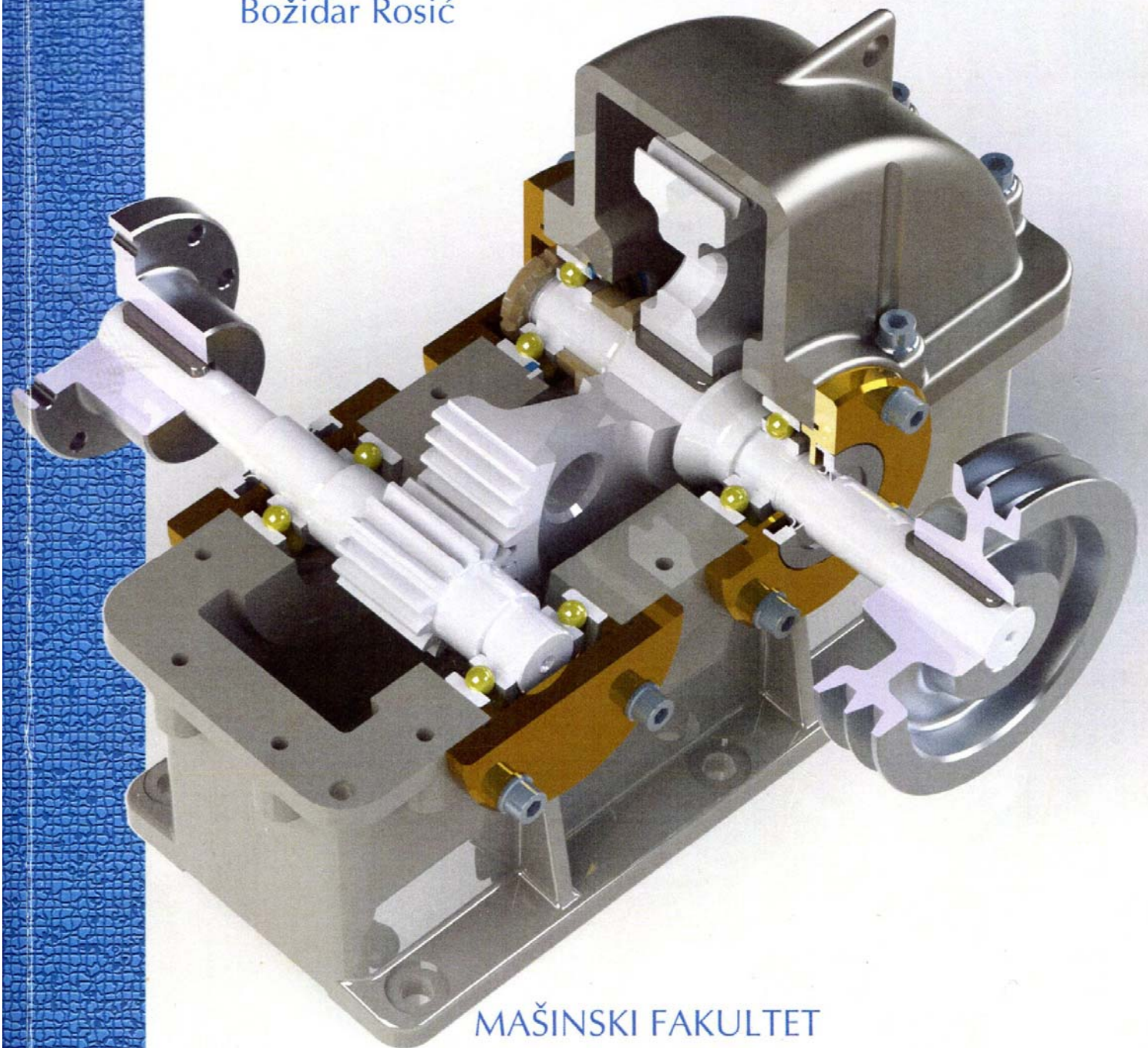


UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI ELEMENTI 1

Radivoje Mitrović
Mileta Ristivojević
Božidar Rosić



MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2021.

UNIVERZITET U BEOGRADU

dr Radivoje Mitrović, redovni profesor
dr Mileta Ristivojević, redovni profesor
dr Božidar Rosić, redovni profesor

MAŠINSKI ELEMENTI 1

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2021

Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet

Dr Radivoje Mitrović, red. prof.
Dr Mileta Ristivojević, red. prof.
Dr Božidar Rosić, red. prof.

MAŠINSKI ELEMENTI 1
- II izdanje -

Recenzenti:
Dr Milosav Ognjanović, profesor emeritus
Dr Siniša Kuzmanović, red. prof. u penziji

Izdavač:
Univerzitet u Beogradu
MAŠINSKI FAKULTET
Ul. Kraljice Marije br.16, Beograd
tel. (011) 3370-760
fax. (011) 3370-364
www.mas.bg.ac.rs

Za izdavača:
Dekan, dr Vladimir Popović, red. prof.

Urednik:
Dr Milan Lečić, red. prof.
Predsednik komisije za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu

Tiraž: 500 primeraka

Štampanje II izdanja odobrila:
Komisija za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu

i
Dekan Mašinskog fakulteta
Odlukom br. 38/2021
od 18.10.2021. godine

Štampa: "Planeta-print", 11000 Beograd
www.planeta-print.rs

Beograd, 2021. godine

ISBN 978-86-6060-101-0

P R E D P R E D G O V O R

Mašinski elementi, kao opštestručni predmet na osnovnim studijama, predstavljaju veoma važnu sponu između opštih predmeta Mehanike, Otpornosti materijala, Mašinskih materijala i Inženjerske grafike i stručnih predmeta na master studijama. Materija u knjizi „Mašinski elementi 1“ izložena je u pet poglavlja.

U prvom poglavlju knjige su obrađene tolerancije dužinskih mera, oblika i položaja i tolerancije kvaliteta površina. Prikazane su osnovne veličine tolerancija dužinskih mera, njihovo označavanje i grafičko prikazivanje. Obrađena su naleganja mašinskih delova: labavo, neizvesno i čvrsto, kao i sistemi naleganja.

Drugo poglavlje obuhvata osnove proračuna mašinskih delova i određivanje kritičnih napona mašinskih delova. Prikazana je korelacija između kritičnog napona mašinskih delova i standardne epruvete. Analizirano je ponašanje mašinskih delova u uslovima složenog i kontaktnog naprezanja. Prikazan je postupak provere radne sposobnosti mašinskih delova na osnovu stepena sigurnosti.

Treće poglavlje obuhvata klasifikaciju, opterećenje, dimenzionisanje, kriterijume radne sposobnosti sa aspekta čvrstoće, krutosti i dinamičke stabilnosti, kao i konstrukciono izvođenje osovina i vratila. Prikazani su mehanički modeli zupčastih parova i odgovarajuće šeme opterećenja radi određivanja opterećenja vratila u toku rada prenosnika. Izložene su veze vratila sa obrtnim delovima koji su na njima učvršćeni posredstvom: čvrstog naleganja, konusa, klina i čivija, žleba i profilisanih oblika vratila.

U četvrtom poglavlju knjige su obrađeni klizni i kotrljajni ležaji. U delu koji se odnosi na klizne ležaje su izloženi osnovni principi teorije trenja i podmazivanja. Data je klasifikacija ovih ležaja i njihova osnovna svojstva. Zatim su analizirani radijalni i aksijalni klizni ležaji sa hidrodinamičkim i hidrostatičkim podmazivanjem, uključujući i metod njihovog proračuna. Drugi deo ovog poglavlja se bavi kotrljajnim ležajima. U njemu je predočena kinematika i dinamika kotrljajnih ležaja, uz detaljnu analizu naprezanja njihovih delova, postupak proračuna, odnosno, način izbora ležaja – sa nekoliko primera. Osim toga, prikazane su konstrukcione i eksploatacione karakteristike najčešće korišćenih tipova ležaja, kao i načini njihovog podmazivanja i zaptivanja. Da bi se knjiga mogla koristiti i kao priručnik pri rešavanju konstrukcionih problema koja uključuju kotrljajne ležaje, u Prilogu su date tablice sa podacima o merama i nosivostima najčešće korišćenih ležaja iz standardnog programa.

Peto poglavlje obuhvata geometrijske i kinematske veličine navojnog spoja, vrste navoja i raspodelu opterećenja u navojnom spoju. Na osnovu mehaničkih modela

izvršena je analiza opterećenja u navojcima navojnog spoja i uspostavljena je korelacija između momenta pritezanja i sile pritezanja. Prikazan je proračun zavrtnajskih veza, poprečno i uzdužno opterećenih, pritegnutih i nepritegnutih, grupnih-složeno opterećenih, kao i proračun pokretnih navojnih spojeva.

Autori su se držali principa, da je prvenstvena uloga univerzitetskog udžbenika, objašnjavanje fizikalnosti i suštine pojava i njihovih zavisnosti, pa su zbog toga izvršene odgovarajuće modifikacije u načinu prezentacije materije u odnosu na dosadašnje udžbenike iz Mašinskih elemenata. Pri određivanju opterećenja koje djeluje na mašinske delove analiza je izvršena na osnovu statičkih i kinematskih principa. Svi proračuni mašinskih delova sprovedeni su saglasno važećim standardima. U cilju razjašnjavanja suštine i fizikalnosti proračuna mašinskih delova, oni su protkani odgovarajućim objašnjenjima.

Izložena materija namenjena je prvenstveno studentima mašinskih fakulteta i strukovnih tehničkih škola, kao i mašinskim inženjerima u praksi. Da bi korisnici knjige što uspešnije savladali izloženu materiju, na kraju svake oblasti urađeni su zadaci sa detaljnim objašnjenjima.

Autori se zahvaljuju recenzentima knjige prof. dr Milosavu Ognjanoviću i prof. dr Siniši Kuzmanoviću na korisnim savetima i sugestijama. Sa izuzetnim zadovoljstvom autori se zahvaljuju kolegama sa Katedre za Opšte mašinske konstrukcije prof. dr Zoranu Stameniću, doc. dr Žarku Miškoviću i asistentima Aleksandru Dimiću, mast. inž. maš. i Milošu Sedaku, mast. inž. maš. na uloženom radu na realizaciji ovog udžbenika. Posebnu zahvalnost autori izražavaju kolegi Borjanu Rinkovcu, dipl. maš. ing. na brižljivo urađenoj tehničkoj obradi ove knjige.

Sugestije i primedbe koje će doprineti poboljšanju knjige „Mašinski elementi I“ u njenim narednim izdanjima su dobrodošle.

Beograd, oktobar 2019. godine.

A u t o r i

P R E D G O V O R II I Z D A N J U

U drugom izdanju ispravljene su uočene štamparske greške i izvršena dopuna novim tabelarnim podacima, usklađenim sa najnovijim standardima.

Autori se i ovom prilikom zahvaljuju kolegama sa Katedre za opšte mašinske konstrukcije na pomoći pri tehničkoj pripremi teksta.

Autori će biti veoma zahvalni čitaocima na sugestijama koje će doprineti poboljšanju kvaliteta ove knjige u sledećem izdanju.

Beograd, oktobar 2021. godine.

A u t o r i

SADRŽAJ

UVOD.....	1
1. TOLERANCIJE	7
1.1 UVOD	7
1.2 TOLERANCIJE DUŽINSKIH MERA	8
1.2.1 Označavanje tolerancija	9
1.2.2 Osnovne veličine tolerancija dužinskih mera.....	10
1.2.3 Položaj tolerancijskih polja	12
1.2.4 Kontrola i utvrđivanje stvarne mere.....	15
1.3 NALEGANJA	17
1.3.1 Vrste naleganja.....	17
1.3.2 Sistemi naleganja	20
1.3.3 Familije naleganja	24
1.4 TOLERANCIJE SLOBODNIH MERA	24
1.5 TOLERANCIJE OBLIKA I POLOŽAJA	24
1.6 TOLERANCIJE KVALITETA POVRŠINA.....	27
2. OSNOVE PRORAČUNA MAŠINSKIH ELEMENATA.....	37
2.1 RADNA OPTEREĆENJA MAŠINSKIH ELEMENATA	37
2.2 RADNI NAPONI MAŠINSKIH DELOVA	40
2.3 KONCENTRACIJA NAPONA U MAŠINSKIM DELOVIMA	50
2.4 KRITIČNI NAPONI MAŠINSKIH DELOVA	54
2.4.1 Kritični naponi mašinskih delova u statičkim uslovima.....	56
2.4.2 Kritični naponi mašinskih delova u dinamičkim uslovima	59
2.5 STEPEN SIGURNOSTI.....	73
2.5.1 Stepen sigurnosti kod složenog naprezanja.....	75
2.6 DOZVOLJENI NAPON.....	79
3. OSOVINE I VRATILA.....	91
3.1 FUNKCIJA I NAMENA	91
3.1.1 Konstrukcioni oblici osovina i vratila	94

3.1.2	Izbor materijala	97
3.2	OPTEREĆENJA VRATILA	97
3.2.1	Sile koje potiču od zupčastih parova	98
3.2.2	Šeme opterećenja vratila	106
3.2.3	Otpori oslonaca	110
3.2.4	Opterećenje u poprečnim preseccima vratila	111
3.2.5	Grananje snage	114
3.3	KRITERIJUMI RADNE SPOSOBNOSTI.....	117
3.3.1	Čvrstoća vratila	117
3.3.2	Koncentracija napona vratila.....	121
3.3.3	Kritični naponi i stepen sigurnosti vratila	121
3.3.4	Izbor dimenzija vratila	123
3.4	KRUTOST VRATILA	126
3.4.1	Deformacije vratila usled uvijanja	126
3.4.2	Deformacije vratila usled savijanja	128
3.5	KRITERIJUM DINAMIČKE STABILNOSTI	131
3.5.1	Kritični broj obrtaja pri savijanju vratila	131
3.5.2	Kritični broj obrtaja pri uvijanju vratila	133
3.6	VEZE VRATILA I OBRJNIH DELOVA.....	135
3.6.1	Veza čvrstim naleganjem	135
3.6.2	Veze pomoću dvodelnih i rasečenih glavčina	141
3.6.3	Konusne stezne veze	142
3.6.4	Veze posredstvom elastičnih elemenata	147
3.6.5	Uzdužni klinovi	148
3.6.6	Ožlebljene veze	151
3.6.7	Poligonalna veza	154
3.7	KONSTRUKCIONE PREPORUKE ZA VRATILA.....	156
3.8	OSOVINICE	157
3.8.1	Provera nosivosti osovinice.....	159
3.8.2	Čivije.....	161
3.8.3	Proračun čivija	163
4.	OSLONCI VRATILA I OSOVINA KLIZNI I KOTRLJAJNI LEŽAJI.....	193
4.1	KLIZNI LEŽAJI	194
4.1.1	Trenje u kliznim ležajima.....	194
4.1.1.1	Trenje pri klizanju čvrstih tela	194
4.1.1.2	Vrste i uloga maziva	195
4.1.2	Vrste kliznih ležaja.....	196
4.1.3	Osnovi hidrodinamičke teorije podmazivanja.....	197
4.1.3.1	Nosivost radijalnih ležaja u uslovima hidrodinamičkog podmazivanja	199
4.1.3.2	Koeficijent trenja i toplotni bilans	202

4.1.3.3	Metod proračuna ležaja u uslovima delimičnog podmazivanja.....	203
4.1.4	Ležaji sa hidrostatičkim podmazivanjem	204
4.1.4.1	Princip rada i osnovna svojstva	204
4.1.4.2	Sistem za snabdevanje mazivom	206
4.1.5	Materijali za klizne ležaje	207
4.2	KOTRLJAJNI LEŽAJI	209
4.2.1	Uvod.....	209
4.2.2	Sistem obeležavanja ležaja – prema SRPS M.C3.506.....	213
4.2.3	Tolerancije i zazori.....	216
4.2.4	Osnovni tipovi kotrljajnih ležaja, njihove karakteristike i domen primene...	217
4.2.5	Opterećenje, naprezanje i nosivost kotrljajnih ležaja	223
4.2.5.1	Raspodela opterećenja na kotrljajna tela	223
4.2.5.2	Promena opterećenja kotrljajnih ležaja tokom vremena	225
4.2.5.3	Naprezanje kotrljajnih ležaja	226
4.2.5.3.1	Kontaktni napon.....	226
4.2.5.3.2	Raspodela pritiska u kontaktu	227
4.2.5.4	Vidovi oštećenja i razaranja	229
4.2.5.5	Površinska dinamička čvrstoća i radni vek.....	230
4.2.5.6	Dinamička nosivost	232
4.2.5.7	Određivanje ekvivalentnog dinamičkog opterećenja.....	233
4.2.5.8	Statička nosivost.....	236
4.2.5.9	Određivanje ekvivalentnog statičkog opterećenja	237
4.2.6	Izbor ležaja	238
4.2.6.1	Izbor ležaja prema dinamičkoj nosivosti	238
4.2.6.2	Izbor ležaja prema statičkoj nosivosti.....	242
4.2.6.3	Granična učestanost obrtanja.....	242
4.2.7	Mazivo, načini podmazivanja i zaptivanja	243
4.2.7.1	Uloga maziva kod kotrljajnih ležaja	243
4.2.7.2	Načini podmazivanja	243
4.2.7.3	Zaptivanje	245
4.2.8	Ugrađivanje ležaja.....	251
4.2.8.1	Fiksiranje ležaja.....	251
4.2.8.2	Tolerancije vratila i kućišta	255
4.2.8.3	Montaža i demontaža kotrljajnih ležaja	256
5.	RAZDVOJIVI SPOJEVI	263
5.1	VRSTE RAZDVOJIVIH SPOJEVA	263
5.2	NAVOJNI SPOJEVI	264
5.2.1	Navoj.....	265
5.2.2	Navojni par.....	269
5.2.3	Tolerancije navoja.....	270
5.2.4	Vrste navoja i označavanje.....	271
5.2.5	Zavrtnji, navrtke i podložne pločice.....	277
5.2.6	Materijali za zavrtnjeve i navrtke	282
5.2.7	Navojni spoj, raspodela opterećenja i kritična dužina	286

5.2.8 Opterećenje zavrtanjske veze	289
5.3 ZAVRTANJSKE VEZE.....	298
5.3.1 Poprečno opterećena nepritegnuta zavrtanjska veza	300
5.3.2 Poprečno opterećena pritegnuta zavrtanjska veza	304
5.3.3 Uzdužno opterećene pritegnute zavrtanjske veze.....	310
5.3.4 Uzdužno opterećene nepritegnute zavrtanjske veze	319
5.3.5 Pokretni navojni spojevi (navojni prenosnici).....	320
5.3.6 Složeno opterećene grupne zavrtanjske veze	325
6. PRILOG	349
6.1 PRILOG – TOLERANCIJE.....	350
6.2 PRILOG – OSNOVE PRORAČUNA MAŠINSKIH ELEMENATA	365
6.3 PRILOG – OSOVINE I VRATILA	369
6.4 PRILOG – KLIZNI I KOTRLJAJNI LEŽAJI.....	377
6.5 PRILOG – RAZDVOJIVI SPOJEVI	426
7. LITERATURA	445

UVOD

Definicija, podela i klasifikacija mašinskih elemenata

Tehnika i tehnologije imaju za cilj da čoveku, odnosno čovečanstvu omoguće što bolji život, kako materijalni tako i duhovni. Stoga je imperativ racionalno korišćenje prirodnih resursa – materija i energija – posredstvom mašina, a na osnovu prirodnih zakona. Mašina je, dakle, neizbežni pratilac savremenog čoveka. Čovek ju je stvorio da mu služi i omogući lakše i bolje življenje.

Mašina u osnovi predstavlja kombinaciju posebno oblikovanih čvrstih tela povezanih tako da mašina može obavljati određenu funkciju (opštu funkciju) u procesu iskorišćavanja i transformacije energije. Prema svojoj nameni, razlikuju se dva osnovna tipa mašina: pogonske i radne.

Pogonske mašine imaju zadatak da sve vidove energije transformišu u mehaničku energiju potrebnu radi obavljanja nekog korisnog rada. Tako se, na primer, električna energija, toplotna energija pare ili gasa, energija vode i druge, transformišu i omogućavaju obavljanje određenih funkcija (posredstvom motora sa unutrašnjim sagorevanjem, toplotne turbine, elektromotora i drugih pogonskih mašina).

Radne mašine imaju zadatak da obavljaju namenjenu korisnu funkciju za čoveka (npr. pumpe, kompresori, ventilatori, mašine alatke, dizalice, mešalice, transportne i rudarske mašine, liftovi, i dr.).

Mehaničku energiju pogonske mašine najčešće treba prilagoditi potrebama radne mašine, u smislu brzine i opterećenja, odnosno momenta. Zato se kao posrednik između pogonske i radne mašine koristi *prenosnik snage*.

Pogonska i radna mašina i prenosnik snage najčešće su sastavni delovi *složene mašine* (npr. mašina alatka, motorno vozilo, buldožer i dr.).

Mašinsko postrojenje je skup skladno povezanih mašina, aparata, uređaja, instalacija i instrumenata u jedinstvenu celinu s unapred definisanom funkcijom. Tu se ubrajaju i fabrike.

Mašinski deo je čvrsto telo koje u jednoj mašini obavlja tačno određenu elementarnu funkciju. On bez razaranja ne može da se razdvoji na prostije, sastavne delove. Primeri mašinskih delova su: zavrtnanj, navrtka, vratilo, osovina, zupčanik, klin, opruga, držač, poluga i dr.

Mašinski podsklop je skup dvaju ili više mašinskih delova. Oni čine jednu celinu i, zajedno sa drugim delovima, ulaze u sastav određene mašine. Automobilski točak sa pneumatikom je primer mašinskog podsklopa.

Mašinski sklop je skup više mašinskih delova ili podsklopova. Oni u okviru jedne mašine obavljaju određenu funkciju. Spojnica je primer mašinskog sklopa.

Svaka mašina sastavljena je od manjeg ili većeg broja delova, podsklopova ili sklopova. Oni zajedno čine jednu celinu. Imaju zajednički zadatak da obave određenu funkciju – opštu funkciju sistema. *Opšta funkcija sistema* ostvaruje se usklađenim (sinhronizovanim) izvršavanjem niza *parcijalnih funkcija*. Parcijalne funkcije čine skup *elementarnih funkcija*.

Mašinski elementi su delovi, podsklopovi ili sklopovi koji u sastavu određene mašine obavljaju *elementarne funkcije*. Oni dakle, mogu biti samo jedan deo (zavrtanj, vratilo, klin i dr.) ili skup delova – sklop (kotrljajni ležaj, spojnica, zupčasti par i dr.).

Zavisno od toga gde se primenjuju mašinski elementi se dele u dve grupe: opšte i posebne (specijalne).

Opšti mašinski elementi se upotrebljavaju kod velikog broja različitih mašina: zavrtnji (vijci) i navrtke, klinovi, opruge, zupčasti parovi, klizni i kotrljajni ležaji, vratila i osovine; zakovani, zavareni, zalemljeni i zalepljeni spojevi, cevovodi i dr.

Posebni mašinski elementi se upotrebljavaju samo kod pojedinih vrsta mašina: klipovi, klipnjače, kolenasta i bregasta vratila, zamajci, ukrsne glave, lopatice turbina, užad, kuke, doboši i dr.

Svaku mašinu, a to znači svaki njen deo, podsklop i sklop, treba najpre zamisliti, projektovati, konstruisati i proračunati. Zatim, propisati način izrade, obrade, kontrole i montaže. Posle toga potrebno je sve delove izraditi (proizvesti), sastaviti ih u jednu celinu; ispitati i pustiti u rad. Tokom eksploatacije neophodno je pratiti rad mašine i blagovremeno zamenjivati neispravne (istrošene) delove. Pri tome, mašina treba da je što jednostavnija, jeftinija, i da troši što manje energije.

U predmetu *Mašinski elementi* izučava se opšta grupa mašinskih elemenata – izvršiooci elementarnih funkcija. Proučavaju se načini izbora standardizovanih mašinskih elemenata, konstrukcija i proračun nestandardizovanih. Oni se izučavaju sa gledišta funkcije i namene, odnosno primene. Analiziraju se oblici, konstrukciona rešenja, način izrade, standardi i materijali. Proračuni se zasnivaju na analizama radnih i kritičnih stanja, odnosno proverama stepena sigurnosti, krutosti i drugih za funkciju važnih karakteristika.

Standardizacija, unifikacija i tipizacija

Standardizacija je ljudska delatnost koja obuhvata utvrđivanje i donošenje jedinstvenih propisa – *standarda* i njihovu primenu.

Osnovni cilj standardizacije jeste postizanje reda u određenoj oblasti ljudske delatnosti. Iz toga proističu projektovane uštede (radnog vremena, materijala i prostora), a postiže se i željeni kvalitet na najekonomičniji i najracionalniji način. Osnovu standardizacije čini dogovor zainteresovanih strana (proizvođača i potrošača) korišćenjem važnih naučnih dostignuća. Primena standarda, dakle, ne

ograničava stvaralačku inicijativu konstruktora. Naprotiv, standardi se stalno dograđuju i usavršavaju, u skladu sa razvojem nauke.

Značaj standardizacije daleko prevazilazi oblast tehnike. Naime, standardizacija ima vrlo značajnu funkciju u sveukupnom kulturnom i duhovnom životu svih naroda i čovečanstva u celini (npr. jezik, pismo, brojevi), jer unose red u sve ljudske delatnosti.

Standardi u mašinstvu su propisi kojima se:

- ograničava broj različitih oblika i dimenzija pojedinih mašinskih delova, elemenata i sklopova s istom funkcijom;
- utvrđuju sastav, kvalitet i način označavanja i druge karakteristike mašinskih materijala, kao i metode njihovih ispitivanja;
- određuju jedinstven način tehničkog sporazumevanja u pogledu terminologije; oznake fizičkih veličina, mernih jedinica, prikazivanja mašina i njihovih delova na crtežima; tolerancije, naleganja i dr.;
- propisuju mere bezbednosti, tehničke, higijenske i druge propisima regulisane vrste zaštite.

Počeci industrijske standardizacije, na kojoj se temelji i današnja standardizacija, vežu se za sredinu 19. veka i razvoj železnice. Važnu funkciju u razvoju standardizacije imale su proizvodnja oružja, vatrogasnih sredstava, alatnih mašina, a kasnije i automobila. Suština je bila da se pojedini delovi proizvode nezavisno jedan od drugog – na različitim mestima u različitim fabrikama, a da se sklapaju na nekom trećem mestu – bez naknadne obrade i dorade.

Standardizacija se, dakle, najpre počela da razvija u okviru pojedinih fabrika. Zatim se, sa razvojem tehnike i tehnologije, domen standardizacije širio, najpre na nacionalni nivo, a zatim na internacionalni. Danas, sve industrijski razvijene zemlje imaju svoje komisije za standardizaciju za pojedine oblasti primene. Sastavljene su od predstavnika proizvođača, potrošača i naučnih ustanova.

Razvoj sistema mera i mernih jedinica takođe je u domenu razvoja standardizacije. Međunarodne osnove današnjeg metarskog sistema određene su 1872. godine na konferenciji u Parizu. Učestvovali su predstavnici 29 zemalja, među njima i tadašnja Srbija. Do kraja 19. veka ovaj sistem su preuzele sve evropske zemlje, osim Rusije i Velike Britanije. Rusija ga je uvela 1917., a Velika Britanija je počela da ga uvodi tek 1965. godine.

Standardizacija ima sledeći razvoj. Prvo se usklađuje izvestan broj standarda pojedinih fabrika. Na osnovu toga se donose *nacionalni standardi*. Zatim se, usklađivanjem nacionalnih standarda, donose međunarodni standardi - ISO¹. U daljem toku razvoja standardizacije nacionalne komisije za standardizaciju usklađuju nacionalne standarde ukoliko su već postojali. Sastavljaju ih poštujući ISO standarde. Isto važi i za sektore za standardizaciju u okviru pojedinih fabrika. Pri sastavljanju svojih internih fabričkih standarda moraju se držati propisa, koji definišu nacionalne standarde.

¹ Međunarodna organizacija za standardizaciju

Pod terminom „nacionalni standard“ podrazumevaju se standardi koji važe na području jedne države. Oni se nazivaju „državni standardi“, jer bi moglo da se tumači da standardizacijom na nivou države obavezno upravljaju i rukovode državni organi. To u mnogim državama (zamlje EU, SAD...) nije praksa. Standardizacija se, dakle, sastoji iz različitih nivoa i sadržaja (tabela u nastavku teksta).

Nivoi i sadržaji standardizacije

NIVO STANDARDIZACIJE	SADRŽAJ STANDARDIZACIJE
Interna standardizacija	Razvija se u okviru pojedinih fabrika ili sistema fabrika (korporacije)
Granska standardizacija	Razvija se u okviru srodnih fabrika jedne industrijske grane (tekstilna industrija, rudarstvo, mašinogradnja...)
Nacionalna standardizacija	Obuhvata standarde koji važe na području jedne države
Regionalna standardizacija	Obuhvata standarde koji važe na nivou određenih privredno-ekonomskih grupacija (zemlje Evropske unije - EU)
Međunarodna standardizacija	Najviši stupanj standardizacije u okviru Međunarodne organizacije za standardizaciju ISO

Postojanje viših nivoa standardizacije ne isključuje potrebu postojanja nižih nivoa. Svakako da standardi nižih nivoa moraju da budu usklađeni sa standardim viših. Za ilustraciju ovog stava može da posluži primer internih standarda.

Sadržaj i delokrug internih standarda obuhvataju:

- propise i smernice za proračun i konstrukciju delova i sklopova koji se proizvode u toj fabrici ili korporaciji, a nisu obuhvaćeni višim nivoima standardizacije;
- izvode iz nacionalnih standarda u vidu daljih ograničenja raznovrsnosti oblika i dimenzija standardnih delova i elemenata koji se upotrebljavaju u proizvodima te fabrike, odnosno korporacije (uži izbor standardnih zavrtnjeva, kotrljajnih ležaja, klinova, materijala i sl.);
- propise o transportu i skladištenju u okviru te fabrike, odnosno grupe fabrika;
- kataloge i publikacije o sopstvenim proizvodima kooperanata, u okviru korporacije.

Koristi od standardizacije su višestruke. One dolaze do izražaja u svim etapama životnog ciklusa pojedinačnog proizvoda: konstruisanju, proizvodnji, eksploataciji i remontu, trgovini i potrošnji.

Unifikacija je metod konstruisanja. Cilj je da različite mašine – proizvodi jedne fabrike ili grupe fabrika, pored standardnih delova, imaju i što više unificiranih delova i/ili sklopova, koji nisu obuhvaćeni opštom standardizacijom.

Opseg unifikacije je manji od opsega standardizacije, ali cilj im je isti: pojeftinjenje proizvodnje, smanjenje konstruktorskog posla i olakšana zamena pri remontu i održavanju.

Različite mašine se, dakle, sastoje ne samo od niza standardnih delova i sklopova, nego i niza unificiranih delova i sklopova koji su isti za sve mašine. Takvi primeri su: različite ručice, komande, točkovi, instrumenti i drugo kod motornih vozila; isti agregati kod različitih mašina alatki, ista kućišta kod različitih prenosnika snage i dr.

Tipizacija je metod konstruisanja niza mašinskih delova ili sklopova istog oblika, materijala, i radne sposobnosti a različitih dimenzija, nosivosti, kapaciteta i sl.



Primena tipizacije u razvoju familije turbopunjača

Tipizacija je osnova standardizacije. Standardni nizovi mašinskih delova ili sklopova istih oblika primeri su primene tipizacije (zavrtnjevi, navrtke, kotrljajni ležaji i dr.).

Primenom zakona sličnosti, umesto konstruisanja niza delova, sklopova i mašina iste funkcije i iste namene, a različitih opterećenja, konstruiše se samo jedan deo, sklop ili mašina. On se dobro ispita u radu. Zatim se na osnovu ovakve tzv. matične konstrukcije, bez ikakvog proračuna, određuje niz tipiziranih konstrukcija, po teoriji sličnosti. Naravno, treba imati na umu da matična konstrukcija ostavlja u nasleđe sve svoje dobre i loše osobine. Zbog toga matična konstrukcija treba da bude „zrela“, odnosno konstrukciono i proizvodno potpuno usavršena.

Sva ispitivanja karakteristika mašinskih materijala zasnivaju se na zakonima sličnosti. Umesto ispitivanja čvrstoće pojedinačnog mašinskog dela ispituje se njegov model (epruveta). Zakoni sličnosti se koriste i u mehanici fluida, aerodinamici (vazduhoplovstvu), termodinamici, teoriji elastičnosti, primenjenoj otpornosti materijala i dr.

1. TOLERANCIJE

1.1 UVOD

Eksploatacija velikih, retko naseljenih područja u Americi početkom XX veka izazvala je veliku potražnju komunikacionih sredstava, pre svega automobila. Henri Ford (*Henry Ford*) je imao poteškoća da svojom proizvodnjom automobila zadovolji povećanu potražnju. Tada je uočio mogućnost da proizvede više automobila čija će cena biti niža od konkurencije. Ford je uspeo da razvije tehnologije koje su za to bile potrebne.

Ford je prvi uveo standardizovani proizvod u sistem za masovnu proizvodnju. Najvažniji razlog za napredak kod Forda nije bila samo montažna traka kako mnogi veruju, nego pre svega, prelazak sa zanatske na standardizovanu mašinsku proizvodnju delova uz visoku tačnost.

Prelazak sa zanatske na industrijsku proizvodnju, između ostalog, zahtevao je i rešavanje problema zamenljivosti delova, odnosno montaže delova proizvedenih u različitim fabrikama. To je podrazumevalo definisanje i propisivanje dozvoljenih odstupanja (tolerancija) od zamišljenih, odnosno unapred propisanih nazivnih mera. Ovim je stvorena potreba za definisanjem svega onoga što se danas naziva *tolerancije u mašinstvu*.

Osim toga ili paralelno sa tim, javila se i potreba za merenjem i kontrolom ovako propisanih dužinskih mera i njihovih odstupanja.

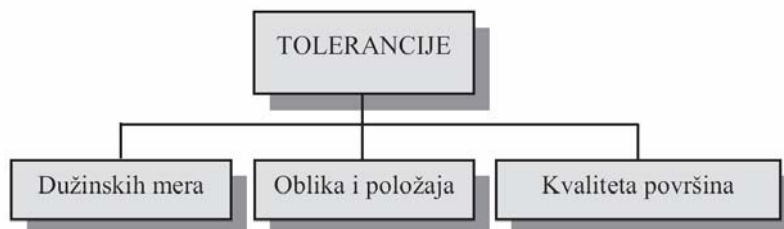
ISO sistem tolerancija dužinskih mera predviđen je za dužinske mere svih mašinskih delova i sklopova. Izuzetak su navojni parovi, kotrljajni ležaji i zupčanici. Za njih su, u skladu sa specifičnostima njihovih oblika i funkcije, propisani posebni sistemi tolerancija.

Srpski standardi o tolerancijama dužinskih mera (SRPS M.A1.110 ... 464) utvrđeni su na osnovu potpunog usvajanja ISO standarda, uz proširenje izbora naziva dozvoljenih odstupanja, u skladu sa mogućnostima koje ISO sistem dozvoljava.

Jedan od osnovnih ciljeva konstruktora jeste da se njegov proizvod održi što duže na tržištu, odnosno da bude konkurentan. U tom smislu svaki proizvod mora da ima odgovarajući kvalitet. Važne komponente kvaliteta proizvoda su tačnost dimenzija, oblika i položaja površina mašinskih delova i elemenata. Pri tome, za njihovo ispravno funkcionisanje, apsolutna tačnost mera, oblika i položaja

površina ne samo da nije neophodna nego je i neostvariva. Granice kvaliteta u pogledu tačnosti definisane su funkcionalnim i ekonomskim ograničenjima. Na osnovu ovih ograničenja propisuju se dozvoljena odstupanja - tolerancije u kojima se nalaze dimenzije, oblici i položaji odgovarajućih površina mašinskih delova i elemenata

Da bi se u procesu proizvodnje ispoštovale propisane tolerancije dužinskih mera, oblika i položaja mašinskih delova i uopšte proizvoda, neophodno je predvideti i odgovarajući kvalitet površina. *Tolerancije su, dakle, propisane dozvoljena odstupanja: dužinskih mera, oblika, položaja i kvaliteta hrapavosti obrađenih površina od nazivnih veličina.* Na slici 1-1 dat je pregled tolerancija koje treba propisati na tehničkoj dokumentaciji mašinskih delova i elemenata.



Slika 1-1 Podela tolerancija

Da bi se izbegla proizvoljnost u pogledu izbora (propisivanja) tolerancija, koriste se međunarodni (ISO 286), odnosno nacionalni standardi (SRPS). U njima su propisane vrednosti tolerancija na osnovu funkcionalnih i ekonomskih ograničenja.

1.2 TOLERANCIJE DUŽINSKIH MERA

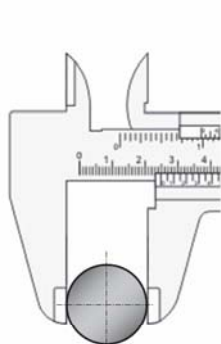
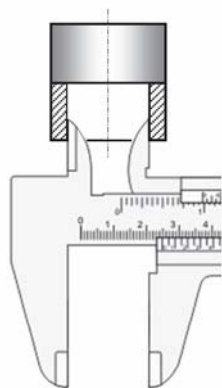
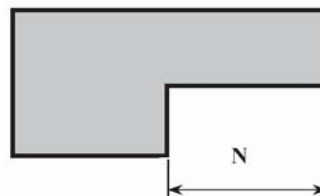
Dužinska mera je fizička veličina čija se vrednost izražava jedinicom dužine. Zavisno od načina merenja (utvrđivanja stvarne mere) dužinske mere mogu biti: spoljašnje, unutrašnje i neodređene.

Spoljašnja mera je dužinska veličina kod koje se pri merenju, dodirne površine mernog alata nalaze izvan merene veličine. Ove mere se označavaju malim slovima latinice, slika 1-2.

Unutrašnja mera je dužinska veličina kod koje se pri merenju, dodirne površine mernog alata nalaze unutar merene veličine. Ove mere se označavaju velikim slovima latinice, slika 1-3.

Neodređena mera je dužinska veličina koja se ne može definisati ni kao unutrašnja mera, ni kao spoljašnja mera, slika 1-4.

Dužinske mere mogu biti tolerisane i slobodne.

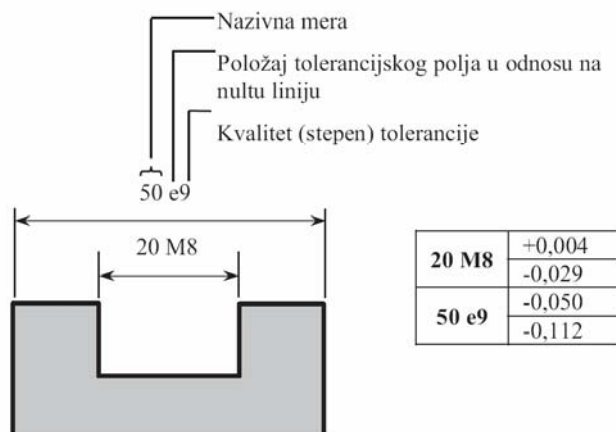
Slika 1-2 Spoljašnja
meraSlika 1-3 Unutrašnja
meraSlika 1-4 Neodređena
mera

Tolerisana mera je dužinska veličina od čije tačnosti izrade bitno zavisi funkcija mašinskog dela ili sklopa, pa se njena dozvoljena odstupanja unose direktno na radionički crtež za svaku kotu odvojeno.

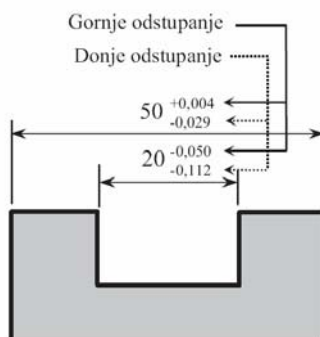
Slobodna mera je dužinska veličina koja nema posebnog značaja na funkciju, montažu i/ili obradu mašinskog dela. Dozvoljena odstupanja ovih mera se posebnim slovnim oznakama prikazuju na radioničkim crtežima.

1.2.1 Označavanje tolerancija

U tehničkoj dokumentaciji tolerancije dužinskih mera mogu se prikazati na dva načina: pomoću slovnih i brojčanih oznaka (slika 1-5), ili samo pomoću brojčanih oznaka (slika 1-6).



Slika 1-5 Kombinovano (slovno i numeričko), prikazivanje tolerancija na crtežu

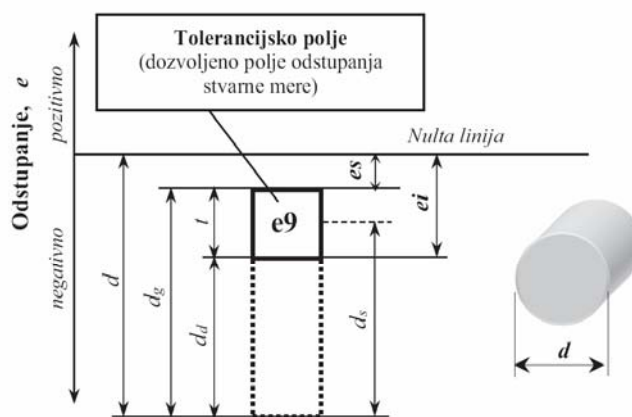


Slika 1-6 Numeričko prikazivanje tolerancija na crtežu

U praksi je više zastupljen način prikazan na slici 1-5. Brojčane vrednosti odstupanja daju se na radioničkom crtežu u vidu tabela. Na ovaj način je crtež rasterećen od velikog broja numeričkih vrednosti, čime se postiže veća jasnoća crteža i smanjuje verovatnoća pojave slučajne greške pri očitavanju numeričkih vrednosti.

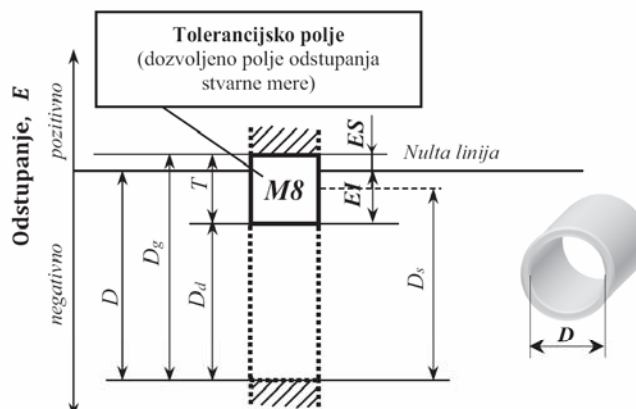
1.2.2 Osnovne veličine tolerancija dužinskih mera

Standardima ISO (286-1; 286-2) definisane su osnovne veličine tolerancija dužinskih mera. Grafički prikaz tolerancija dužinskih mera dat je na slici 1-7 za spoljašnje mere, a na slici 1-8 za unutrašnje mere.



Slika 1-7 Osnovne veličine tolerancija spoljašnje mere

Nazivna mera (d i D) je mera koja služi kao osnova za definisanje dozvoljenih odstupanja i upisuje se u tehničku dokumentaciju. Ona može, a ne mora, biti i željena mera. Ako se nazivna mera nalazi unutar tolerancijskog polja, ona je i željena mera. U suprotnom nije.



Slika 1-8 Osnovne veličine tolerancija unutrašnje mere

Nulta linija je zamišljena prava linija koja ograničava nazivnu meru. Od nje se mere odstupanja. Ona mogu biti pozitivna i negativna.

Granične mere su dve propisane mere između kojih se mora nalaziti stvarna mera ispravno izrađenog mašinskog dela.

Gornja granična mera (D_g ; d_g) je najveća dozvoljena mera ispravno izrađenog mašinskog dela.

Donja granična mera (D_d ; d_d) je najmanja dozvoljena mera ispravno izrađenog mašinskog dela.

Stvarna mera (D_s ; d_s) je mera koja se utvrđuje merenjem izrađenog mašinskog dela. Kod ispravno izrađenog dela nalazi se između donje i gornje granične mere.

Odstupanje (E , e) je algebarska razlika između neke od navedenih mera i nazivne mere.

Gornje odstupanje – ES ; es (*ecart superieur*) je algebarska razlika gornje granične mere i nazivne mere

$$ES = D_g - D \qquad es = d_g - d \quad (1.1)$$

Donje odstupanje – EI ; ei (*ecart inferieur*) je algebarska razlika donje granične mere i nazivne mere

$$EI = D_d - D \qquad ei = d_d - d \quad (1.2)$$

Stvarno odstupanje je algebarska razlika između stvarne mere i nazivne mere.

Tolerancija (T ; t) je algebarska razlika između gornje i donje granične mere.

$$T = D_g - D_d \qquad t = d_g - d_d \quad (1.3)$$

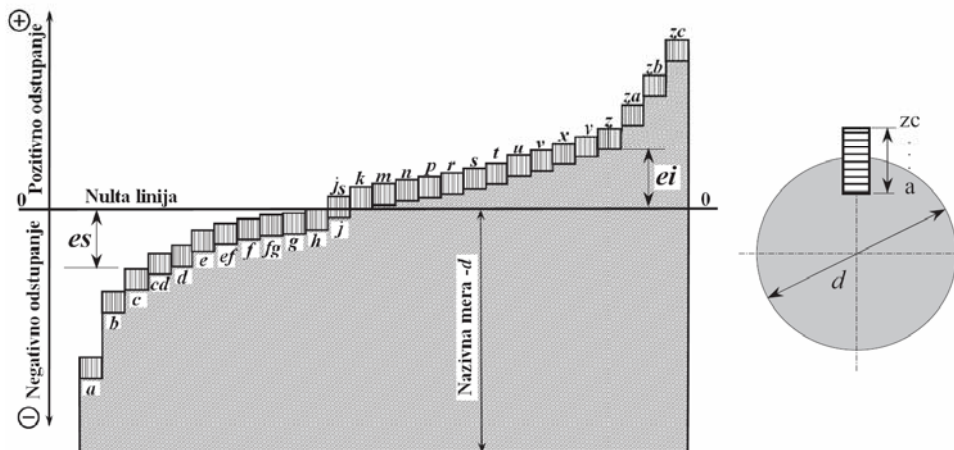
Tolerancijsko polje je oblast pravougaonog oblika ograničena no visini graničnim merama. Širina tolerancijskog polja je proizvoljna. Izračunate vrednosti

tolerancija t odnosno T , za sva područja nazivnih mera $1 \div 3150$ mm i za stepene tolerancija IT1 - IT18, date su u tabeli P1-1.

Kvalitet tolerancije (stepen tolerancije) se označava sa IT (Internacionalna Tolerancija), i predstavljen je brojem uz slovnu oznaku položaja tolerancijskog polja (npr. za tolerancijsko polje H6, IT=6).

1.2.3 Položaj tolerancijskih polja

Prema ISO standardu položaj tolerancijskih polja u odnosu na nultu liniju, saglasno načinu označavanja tolerancija (slika 1-5), određuje se granničnim odstupanjima, a obeležava se slovima abecede, i to malim za spoljašnje mere (slika 1-9), a velikim za unutrašnje mere (slika 1-10). Slovnim oznakama određen je kvalitativni položaj tolerancijskog polja u odnosu na nultu liniju. Kvantitativni položaj određen je veličinom gornjeg i donjeg odstupanja. Veličine ovih odstupanja za različita tolerancijska polja, različite nazivne mere i kvalitete tolerancija prikazane su u tabelama P1-2 i P1-3.



Slika 1-9 Položaj tolerancijskih polja za spoljašnje mere

Visina tolerancijskog polja zavisi od kvaliteta tolerancije (IT) i veličine nazivne mere (D ; d).

Prema ISO standardu predviđeno je 20 kvaliteta tolerancija (IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT18). *Kvalitet tolerancije* (IT) predstavlja odgovarajući (željeni) stepen tačnosti izrade. Što je brojčana vrednost kvaliteta tolerancije manja, visina tolerancijskog polja je manja (finiji kvalitet tolerancija, odnosno veća tačnost izrade) i obrnuto, slika 1-11 a i b.

Nazivna mera se označava brojčanim vrednostima izraženim u milimetrima. U ISO sistemu tolerancija dužinskih mera nazivne mere od 0 do 3150 mm, podeljene su u dve oblasti, i to:

2. OSNOVE PRORAČUNA MAŠINSKIH ELEMENATA

Sve mašinske konstrukcije, složene (avion, brod, automobil, itd.) i jednostavne (bicikl, mašina za veš, itd.), sastavljene su od velikog broja mašinskih delova, podsklopova i sklopova, odnosno od mašinskih elemenata. Proračun mašinskih elemenata započinje se *prethodnim proračunom*. Ovim proračunom se mašinskim elementima određuju potrebni oblici, dimenzije i materijali. Posle ovog proračuna sledi *završni proračun*. U njemu se proverava da li usvojeni oblici, dimenzije i materijali omogućuju mašinskim elementima da svoju funkciju u normalnim (predviđenim) radnim uslovima izvršavaju bez pojave kritičnih stanja u pogledu kidanja, loma, plastičnih deformacija, zagrevanja, velikih elastičnih deformacija, buke, vibracija itd. Posle faze završnog proračuna, sledi izrada odgovarajuće tehničke dokumentacije, sklopnih i radioničkih crteža, neophodnih za proizvodnju i montažu mašinskih elemenata.

2.1 RADNA OPTEREĆENJA MAŠINSKIH ELEMENATA

Opterećenja koja dejstvuju na mašinske elemente u normalnim-predviđenim radnim uslovima mašinske konstrukcije su *radna opterećenja*. Radna opterećenja nastaju usled otpora koje mašinska konstrukcija savladava obavljajući neki koristan rad, na primer:

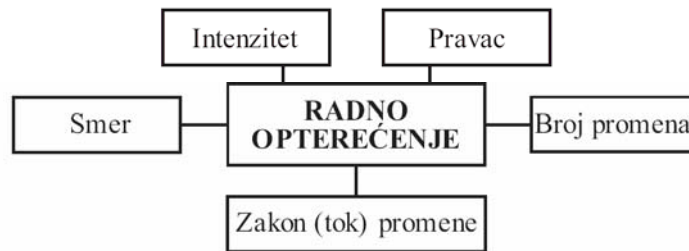
- otpor vazduha kod aviona;
- otpor vode kod plovnih objekata;
- otpor zemljišta kod poljoprivrednih mašina;
- otpor rezanja kod mašina alatki;
- pritisak fluida u rezervoaru i cevovodu;
- sila zemljine teže;
- inercijalne sile, itd.

Ova opterećenja mogu biti u vidu sile F , i spregova sila: momenta savijanja M i obrtnog momenta (momenta uvijanja) T . Radno opterećenje je vektorska veličina određena pravcem, smerom i intenzitetom. Osnovne karakteristike radnog opterećenja prikazane su na slici 2-1. U pogledu intenziteta radno opterećenje može biti *nominalno*, *stvarno* i *merodavno*. Radno opterećenje određeno na osnovu snage (P) i brzine kretanja (v , ω) je *nominalno opterećenje*. Na mašinski deo koji se kreće pravolinijski konstantnom brzinom v i pri tome savladava otpore snagom P , dejstvuje sila

$$F = \frac{P}{v} \quad (2.1)$$

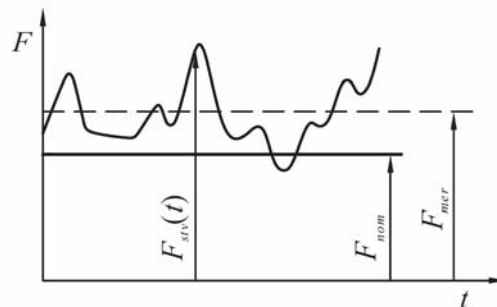
Mašinski deo koji se kreće ugaonom brzinom ω i pri tome savladava otpore snagom P , izložen je dejstvu obrtnog momenta

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.2)$$



Slika 2-1 Osnovne karakteristike radnog opterećenja

Zavisno od stepena nestacionarnosti rada mašinske konstrukcije, stvarno radno opterećenje, u većoj ili manjoj meri, odstupa od nominalnog, slika 2-2.



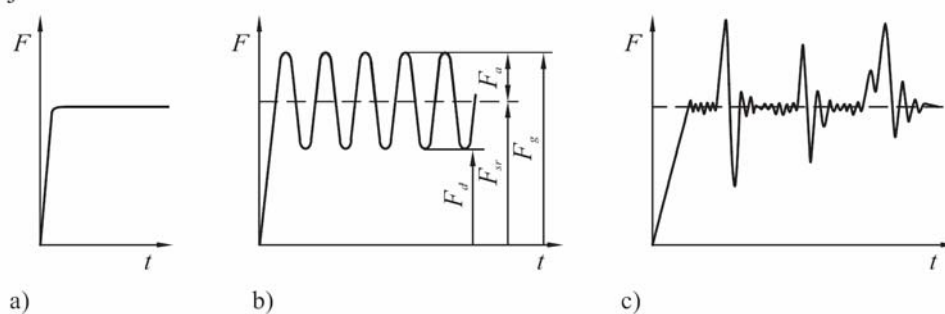
Slika 2-2 Nominalno, stvarno i merodavno radno opterećenje

Tačno određivanje intenziteta stvarnog radnog opterećenja u većini slučajeva je složeno i teško se može odrediti samo računskim putem bez odgovarajućih ispitivanja. Zato se proračun mašinskih elemenata najčešće sprovodi na osnovu merodavnog opterećenja, odnosno na osnovu nominalnog opterećenja i faktora radnih uslova K

$$F_{mer} = F_{nom} \cdot K \quad (2.3)$$

Merodavno opterećenje je zamišljeno radno opterećenje koje na radnu sposobnost mašinskih elemenata ima približno isti uticaj kao i stvarno radno opterećenje. Faktor radnih uslova K , određuje se primenom teorijskih i eksperimentalnih metoda. Za jednu klasu sličnih radnih uslova sprovode se detaljna ispitivanja, a dobijeni rezultati se daju tabelarno. Karakteristični primeri su faktori radnih uslova kod zupčanika, lančanika i remenih parova.

U pogledu promene radnog opterećenja u toku vremena, postoji *statičko-mirno*, *dinamičko-periodično promenljivo* i *udarno opterećenje*, slika 2-3. Opterećenje stalnog pravca, smera i intenziteta je statičko opterećenje, slika 2-3a. Dinamičko opterećenje se tokom vremena menja po intenzitetu, pravcu i smeru, slika 2-3b. Tok promene udarnog opterećenja prikazan je na slici 2-3c. Intenzitet ovog opterećenja se menja naglo-skokovito. Osnovne karakteristike dinamičkog opterećenja su: minimalno (donje) F_d i maksimalno (gornje) F_g opterećenje, zatim amplituda opterećenja F_a , srednje opterećenje F_{sr} i broj promena-ciklusa u jedinici vremena.



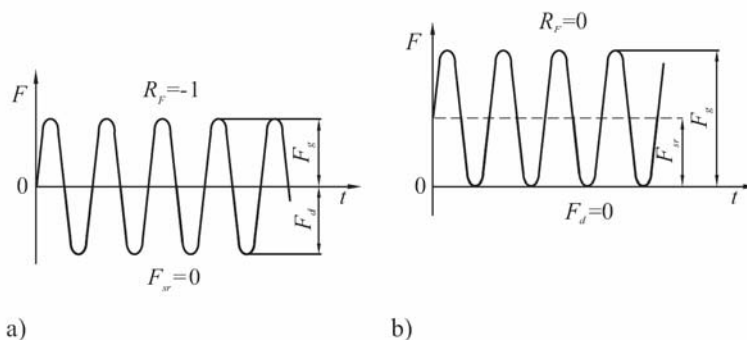
Slika 2-3 Radna opterećenja:

a) statičko b) dinamičko-periodično promenljivo i c) udarno

Radi opisivanja promene opterećenja u toku vremena uveden je *faktor asimetrije radnog opterećenja* (R_F) koji je definisan odnosom minimalnog (donjeg) i maksimalnog (gornjeg) opterećenja

$$R_F = \frac{F_d}{F_g} \quad (2.4)$$

Kod statičkog opterećenja (slika 2-3a) faktor asimetrije radnog opterećenja jednak je jedan $R_F=1$, a kod osnovnog dinamičkog opterećenja, slika 2-4a (čisto naizmenično promenljivo opterećenje $F_{sr}=0$), faktor asimetrije radnog opterećenja je $R_F=-1$. Na slici 2-4b prikazano je čisto jednosmerno promenljivo opterećenje. Faktor asimetrije kod ovog periodično promenljivog opterećenja jednak je nuli $R_F=0$.



Slika 2-4 Osnovne vrste dinamičkog-periodično promenljivog opterećenja:
a) čisto naizmenično promenljivo b) čisto jednosmerno promenljivo

Za proračun vitalnih delova mašinske konstrukcije osnovne karakteristike radnog opterećenja određuju se eksperimentalno. Pored radnih opterećenja, koja dejstvuju na mašinski deo, postoje i opterećenja koja dejstvuju u poprečnim preseccima mašinskih delova, tzv. napadna opterećenja. Ova opterećenja, takođe mogu biti u vidu sile ili spregova sila, momenta savijanja i momenta uvijanja.

2.2 RADNI NAPONI MAŠINSKIH DELOVA

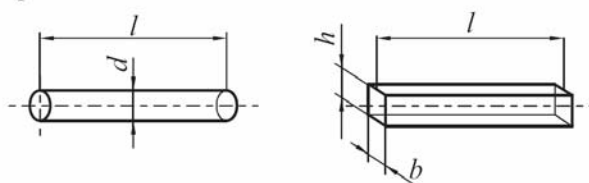
Na osnovu pravca i smera radnog opterećenja može se sagledati ponašanje mašinskog dela pod dejstvom radnog opterećenja. Mašinski deo se pod dejstvom radnog opterećenja *deformiše*, odnosno menja *prvobitni oblik* i *dimenzije*, a u njegovim poprečnim preseccima se javljaju *unutrašnje sile*. Ovo stanje mašinskog dela, nastalo pod dejstvom radnog opterećenja naziva se *naprezanje*.

Pod dejstvom radnog opterećenja, u vidu sila i spregova sila, u mašinskom delu se menjaju međumolekularna rastojanja. Ona se povećavaju ili smanjuju, a neka ostaju nepromenjena. Usled promene međumolekularnih rastojanja, prvobitno neopterećeno (nedeformisano) stanje mašinskog dela, zamenjuje se novim deformisanim stanjem u pogledu oblika i dimenzija. Istovremeno u mašinskom delu se stvaraju *unutrašnje sile* koje teže da vrate mašinski deo u prvobitno nedeformisano stanje. Unutrašnje sile postoje sve dok na mašinski deo dejstvuje radno opterećenje. One isčezavaju (nestaju) kada se mašinski deo vrati u prvobitno nedeformisano stanje. Da bi se dobila jasnija predstava o veličini unutrašnjih sila, uvedena je nova veličina koja se naziva *napon*. *Napon* predstavlja intenzitet unutrašnjih sila sveden na jedinicu površine poprečnog preseka. Izražavanjem intenziteta unutrašnjih sila posredno, preko napona, eliminisan je uticaj veličine poprečnog preseka mašinskog dela na veličinu unutrašnjih sila. To olakšava upoređivanje intenziteta unutrašnjih sila za različite uslove delovanja spoljašnjih sila na mašinski deo. Iz definicije napona sledi da veličina napona ima jedinicu sile po jedinici površine. Jedinica mere za napon je Paskal, Pa ($1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$). Pored Paskala, često se koriste i druge jedinice mere za napon (N/mm^2).

Deformacije mašinskih delova mogu biti *zapreminske* i *kontaktne*. Zapreminske deformacije se prostiru po čitavoj zapremini mašinskog dela, a kontaktne su ograničene samo na površinu delova u kontaktu. Zavisno od intenziteta radnog opterećenja i elastičnih karakteristika materijala mašinskog dela, zapreminske i kontaktne deformacije mašinskog dela mogu biti *elastične* i *plastične*. Elastične deformacije nestaju po prestanku dejstva radnog opterećenja, kada su radni naponi u mašinskom delu manji od napona tečenja. Kada su radni naponi veći od napona tečenja, mašinski deo se ne može vratiti u prvobitno stanje u pogledu oblika i dimenzija, zato što se trajno-plastično deformisao. Deformacije mašinskih delova mogu biti i *dužinske* i *ugaone*.

Naprezanje, odnosno stanje mašinskog dela pod dejstvom radnog opterećenja, zavisi od međusobnog položaja mašinskog dela i radnog opterećenja. U tehničkoj

praksi, najviše su zastupljeni mašinski delovi čiji oblici odgovaraju obliku štapa ili obliku grede, slika 2-5. To su osnovni mehanički modeli, čija jedna dimenzija (dužina) je znatno veća od druge dve (širine i visine) kod grede, odnosno prečnika kod štapa.



Slika 2-5 Osnovni mehanički modeli mašinskih delova: štap i greda

Osnovne geometrijske karakteristike štapa i grede su podužna osa i poprečni presek. Podužna osa je linija koja spaja težišta svih poprečnih preseka štapa ili grede. Različiti položaji radnog opterećenja u odnosu na podužnu osu mašinskog dela, odnosno štapa ili grede, dovode mašinski deo u različita stanja, odnosno

3. OSOVINE I VRATILA

3.1 FUNKCIJA I NAMENA

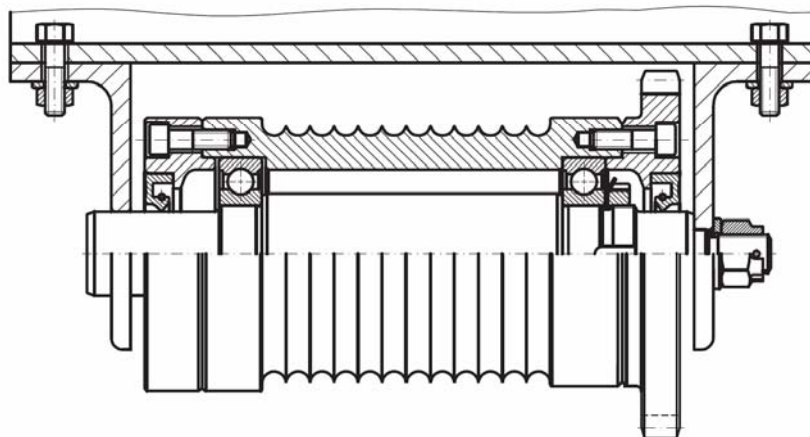
Osovine i vratila su prostorni nosači obrtnih mašinskih delova, koji prenose opterećenje i/ili kretanje posredstvom ležaja, pri čemu treba da ispune zahteve sa aspekta radne sposobnosti u toku njihove eksploatacije.

Osovine najširu primenu nalaze u nosećim konstrukcijama: šinskih, priključnih vozila, vagona, rudarskih transportnih kolica, doboša dizalica, koturača itd.

Osovine ne prenose obrtne momente, već prenose poprečne i/ili uzdužne sile, pa su izložene savijanju i/ili aksijalnom naprezanju. U zavisnosti od funkcije i namene koje izvršavaju u toku rada, osovine mogu biti

- *nepokretne* – omogućuju obrtanje ili oscilacije delova koji su učvršćeni na njima,
- *pokretne* – obrću se u osloncima ležaja zajedno sa učvršćenim delovima, koji su za osovine vezani posredstvom klinova ili čvrstim naleganjem itd.

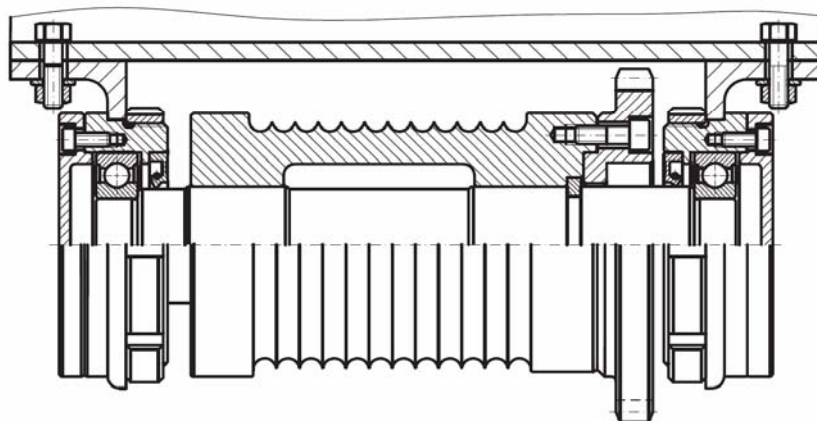
Na slici 3-1 prikazana je *nepokretna osovina* doboša vitla za namotavanje užeta, koji slobodno rotira oko ose osovine preko kotrljajnih ležaja na koje se oslanja.



Slika 3-1 Nepokretna osovina doboša vitla za namotavanje užeta

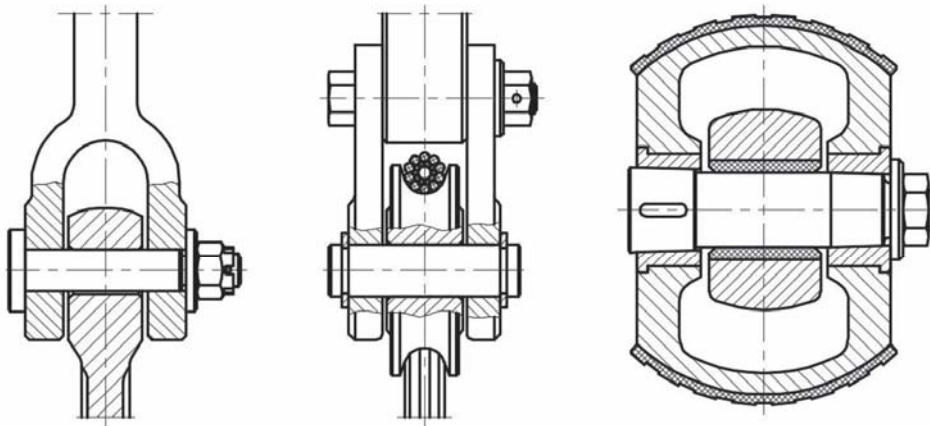
U prikazanoj konstrukciji, prenos obrtnog momenta sa tela zupčanika na doboš ostvaruje se posredstvom odgovarajuće zavrtnajske veze.

S druge strane, na slici 3-2 prikazana je *obrtna osovina* koja se obrće zajedno s pričvršćenim dobošem. U ovom slučaju, zavrtnajska veza između tela zupčanika i doboša omogućuje prenošenje obrtnog momenta u cilju podizanja tereta.



Slika 3-2 Pokretna osovina doboša vitla za namotavanje užeta

Osovinice su osovine relativno male dužine u odnosu na površinu poprečnog preseka i najčešće se primenjuju za ostvarivanje zglobnih veza (slika 3-3).



Slika 3-3 Zglobne veze ostvarene posredstvom osovinica

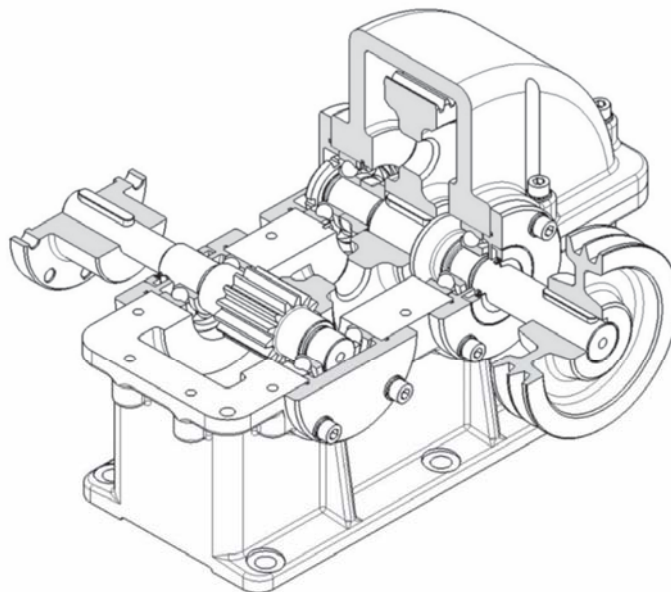
Vratila za razliku od osovin prenose obrtne momente, pa su pored savijanja i/ili aksijalnog naprezanja izložena i uvijanju. Vratila omogućuju kretanje i prenošenje opterećenja obrtnih mašinskih delova posredstvom ležaja, kao na primer: spojnice, zupčanika, remenica, radnih kola kompresora, turbina i pumpi,

frikcionih točkova itd., i spajanje svih učvršćenih obrtnih delova u jednu funkcionalnu celinu.

U zavisnosti od namene u sklopu neke mašine, vratila se mogu klasifikovati na sledeće tri grupe i to

- vratila prenosnika,
- vratila pogonskih i radnih mašina i
- specijalna vratila.

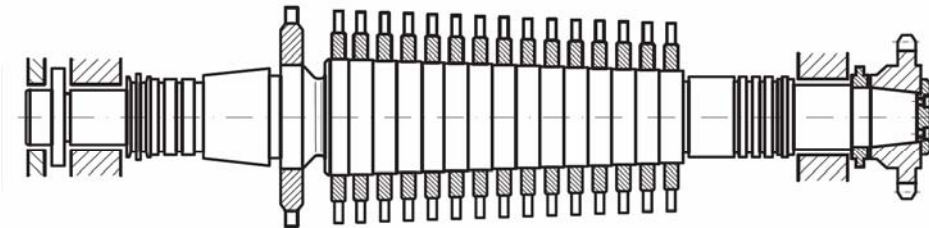
Vratila zupčastih prenosnika osim zadovoljavajuće čvrstoće treba da poseduju i odgovarajuću krutost pod dejstvom opterećenja, što je posebno značajno za delove koji su učvršćeni na vratilima, a isto tako i za delove na koje se vratila oslanjaju, kao što je prikazano na primeru konstrukcije jednostepenog zupčastog prenosnika (slika 3-4). Ugibi ili nagibi vratila u toku rada prenosnika, koji su veći od dozvoljenih na mestu ugradnje zupčanika, mogu dovesti do: neravnomerne raspodele opterećenja između zubaca spregnutih zupčanika, kritičnog stanja za posmatrani zupčasti par, kao i oštećenja samog prenosnika. Pri tome, dovoljna krutost vratila može se ostvariti: smanjivanjem rastojanja između njegovih oslonaca, smanjivanjem krakova sila koje izazivaju momente savijanja i uvijanja i izborom odgovarajućeg oblika i dimenzija vratila. Osim toga, nagibi vratila na mestima oslonaca značajno utiču na ispravan rad ležaja, pa je u tom cilju neophodno posvetiti posebnu pažnju izboru tipa ležaja s obzirom na dozvoljeni nagib na mestu oslonaca.



Slika 3-4 Jednostepeni zupčasti prenosnik

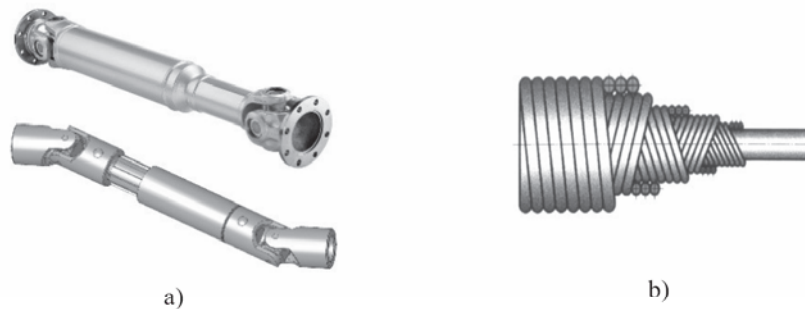
Vratila pogonskih mašina na prvom mestu treba da ispune zahtev u pogledu krutosti (slika 3-5). Elastične deformacije vratila u konstrukciji turbomašina

moгу smanjiti ili poništiti dozvoljene zazorе između pokretnih delova – rotora i nepokretnih delova – statora, što može narušiti ispravanost njihovog rada. Prema tome, posebna pažnja mora se posvetiti izboru sklopnih mera rotacionog i statorskog podsklopa, kao i konstrukcijskom obliku vratila radi smanjenja koncentracije napona, radi povećanja pouzdanosti rada rotacionog sklopa.



Slika 3-5 Vratilo turbomašine

U treću grupu spadaju *vratila posebne namene* kao što su: kardanska i elastična vratila. Kardanska vratila (slika 3-6a) primenjuju se za prenos velikih obrtnih momenata između dva vratila čije se ose ne poklapaju, a mogu se konstrukcijski izvesti i kao teleskopska. Elastična vratila (slika 3-6b) primenjuju se kada je neophodno ostvariti prenošenje relativno malih opterećenja između pogonskih i radnih agregata, koji su nepristupačno prostorno smešteni. Sastoje se od namotanih čeličnih žica u vidu cilindričnih zavojnih opruga čije se zavojnice dodiruju. Njegova jednostavna konstrukcija čini ga pogodnim za pogon različitih ručnih alata sa širokim dijapazonom primene.



Slika 3-6 Vratila posebne namene: a) kardansko, b) elastično

3.1.1 Konstrukcioni oblici osovine i vratila

Konstrukcioni oblici vratila prvenstveno su prilagođeni: funkciji, nameni, području primene učvršćenih obrtnih delova i zahtevima radne sposobnosti u toku njihove eksploatacije. Dimenzije vratila na prvom mestu zavise od opterećenja koje deluje na njih i raspona između oslonaca, koje diktira način ugradnje i tip ležaja. Pri definisanju tolerancija za osovine i vratila polazi se od njihovih sklopnih mera koje treba da obezbede funkcionalnost posmatranog sklopa u konstrukciji neke mašine. Na primer, za podsklop osovine i kliznog ležaja

tolerisanim dužinskim merama, potrebno je obezbediti mogućnost slobodnog obrtanja osovine u klizinom ležaju, izborom odgovarajućeg labavog naleganja. S druge strane, podsklop vratila i glavčine zupčanika je čvrsta, nepokretna veza, kod koje je neophodno obezbediti odgovarajući preklop pre sklapanja delova ove veze, radi prenošenja opterećenja s jednog dela na drugi u toku rada mašine. Najzad, delovi osovine i vratila koji ne dolaze u dodir s drugim mašinskim delovima, ne moraju imati propisane tolerancije. Dakle, osovine i vratila s drugim mašinskim delovima uslove funkcije sklopa obezbeđuju propisanim tolerancijama sklopnih mera, oblika i međusobnog položaja pojedinih površina, koje su označene kao

- *rukavci (R)* – mesta na kojima se oslanjaju i ugrađuju ležaji,
- *podglavci (P)*, mesta na kojima se učvršćuju obrtni mašinski delovi.

Shodno ovome, na slici 3-7 prikazano je vratilo na kome su naznačeni položaji rukavaca (*R*) radi oslanjanja vratila na ležaje i podglavaka (*P*) na koje se učvršćuje doboš vitla i glavčina zupčanika, respektivno.



4. OSLONCI VRATILA I OSOVINA KLIZNI I KOTRLJAJNI LEŽAJI

Ležaji su mašinski elementi, koji u osloncima vratila i osovina, služe za prenošenje opterećenja na kućište i za obezbeđenje tačnosti položaja pokretnih delova u odnosu na nepokretne.

Ležaj prima opterećenje sa vratila ili osovine i prenosi ga na noseći deo konstrukcije. Ležaji su predviđeni samo za prenošenje sila, a ne i obrtnih momenata. Kako su rukavci vratila i osovina pozicije na kojima se ostvaruje veza sa ležajima, dimenzije i oblik ležaja moraju da odgovaraju obliku i dimenzijama rukavaca.

U ležaju se ostvaruje veza između pokretnih (obrotnih) i nepokretnih delova konstrukcije, odnosno, između delova koji se obrću različitim ugaonim brzinama (jedan u odnosu na drugi).

Prema vrsti relativnog kretanja radnih površina, pokretnih i nepokretnih delova, preko kojih se prenosi opterećenje, razlikuju se dve osnovne grupe ležaja

- *klizni*
- *kotrljajni*

Kod *kliznih ležaja* pokretna površina - najčešće površina vratila – klizi po nepokretnoj površini posteljice ležaja. U cilju smanjenja otpora trenja, između ovih površina se dovodi mazivo, a posteljica izrađuje od materijala malog koeficijenta trenja. Posteljica je osnovni element svakog kliznog ležaja – dakle, predstavlja klizni ležaj u užem smislu.

Kod *kotrljajnih ležaja* su, između pokretnog i nepokretnog dela umetnuta kotrljajna tela u obliku kuglica ili valjčića, čime se postiže da, pri relativnom kretanju radnih površina, prevladava trenje kotrljanja.

Izbor vrste ležaja, kliznih ili kotrljajnih, uslovljen je radnim karakteristikama ležaja i zahtevima koje ležaji treba da zadovolje u mašinskoj konstrukciji, a koji proističu iz radnih parametara i radnih uslova konstrukcije. Svi ovi faktori se mogu svrstati u tri kategorije: mehaničko-tehnološke, ekonomske i faktore okoline.

Najznačajniji *mehaničko-tehnološki faktori* su: karakter i intenzitet opterećenja ležaja, ustaljenost relativnog kretanja, relativna brzina između površine rukavca i ležaja, dozvoljeno odstupanje dimenzija, oblika i položaja delova ležaja, vrsta

maziva koje se može primeniti (mast, ulje i druge tečnosti, vazduh ili neki drugi gas), gabariti ležaja itd.

Pri izboru ležaja od izuzetnog značaja su i *ekonomski faktori*: cena ležaja, troškovi održavanja, dužina radnog veka, učestanost i trajanje nužnih zastoja zbog zamene maziva, pregleda ili popravki, uslovi zamene i drugi.

Radna sredina može prouzrokovati posebne zahteve u pogledu izbora vrste ležaja, naročito ako je agresivna (korodivna, zagađena ili slično) ili ako se očekuju veoma visoke ili veoma niske radne temperature.

4.1 KLIZNI LEŽAJI

4.1.1 Trenje u kliznim ležajima

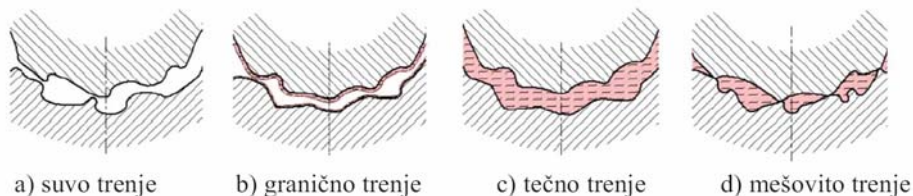
4.1.1.1 Trenje pri klizanju čvrstih tela

Pod pojmom "trenje", podrazumeva se kompleks pojava koje nastaju pri relativnom kretanju dodirnih površina dva čvrsta tela, od kojih su najznačajnije: pojava sila i/ili momenata otpora kretanju; proces pretvaranja jednog dela mehaničke energije tela u toplotu (praćen povećanjem temperature); habanje dodirnih površina (praćeno promenom oblika i dimenzija).

Ako su dodirne površine dva čvrsta tela tehnički čiste, odnosno, na njima nema vidljivih tragova bilo kakvih sredstava za podmazivanje ili nečistoće, pri klizanju ovakvih površina se ostvaruje takozvano "*suvo trenje*", slika 4-1a.

Ako su dodirne površine pokrivena tankim, jednomolekularnim ili višemolekularnim, slojem maziva, koji se nalazi pod dejstvom molekularnih sila graničnih površina čvrstih tela ("granični sloj" maziva), ostvaruje se "*granično trenje*", slika 4-1b.

Ako su klizne površine potpuno razdvojene slojem maziva, tako da je potpuno sprečen neposredni dodir čvrstih tela, trenje se dešava među česticama maziva i naziva "*tečno trenje*", a sve pojave u takvom sloju podležu zakonima mehanike fluida, slika 4-1c.



Slika 4-1 Vrste trenja pri klizanju čvrstih tela

Ako su neki delovi kliznih površina potpuno razdvojeni mazivom, a na nekim delovima (na primer, na vrhovima neravnina) postoji samo granični sloj maziva, onda je to slučaj "*mešovitog trenja*" slika 4-1d.

Uslovi trenja su najnepovoljniji u slučaju "suvog trenja". Stoga se ono kod kliznih ležaja ne može dozvoliti. Najpovoljnije je "tečno trenje", ali se ono može ostvariti samo pod određenim uslovima, tako da veliki broj kliznih ležaja radi u uslovima "mešovitog trenja".

4.1.1.2 Vrste i uloga maziva

Od pravilnog izbora maziva, u najvećoj meri zavise osnovna radna svojstva ležaja: nosivost, stabilnost, preciznost (tačnost vođenja vratila) i trajnost (dužina radnog veka).

Uloga maziva je višestruka. U prvom redu, ono smanjuje gubitke usled trenja, a time i intenzitet habanja kliznih površina. Mazivo sprečava veliko povećanje temperature ležaja u radu, na dva načina: zbog smanjenja trenja smanjuje se i količina energije koja se pretvara u toplotu, a stalnim proticanjem maziva kroz ležaj direktno se odvodi toplota i snižava temperatura. Sloj maziva u ležaju može da ima i amortizaciono dejstvo, te tako smanjuje vibracije i mogućnost "ispadanja" ležaja, tj. sprečava gubljenje dinamičke stabilnosti. Mazivom se, takođe, iz ležaja odvođe produkti habanja, a služi i kao zaštita od korozije.

U kliznim ležajima se najčešće primenjuju *tečna maziva - ulja*, izuzetno i neke druge tečnosti, pa i voda, dok se kod manjeg broja ležaja koriste *konzistentna maziva - masti*. Kod savremenih mašina, za podmazivanje se takođe primenjuju vazduh i neki drugi *gasovi*. U posebnim slučajevima, kao mazivo mogu da služe i *čvrsta tela*, na primer *grafit i molibden-sulfid*.

Maziva ulja se dele, u zavisnosti od osnovne sirovine i načina proizvodnje, u dve osnovne grupe: *mineralna* i *sintetička (sintetska)*. *Mineralna ulja* dobijaju se destilacijom ili rafinacijom nafte, a *sintetička* hemijskim postupkom sinteze više organskih materija. Sintetička ulja, u odnosu na mineralna, imaju veću termičku stabilnost, dakle veći temperaturni dijapazon primene, ali su im proizvodni troškovi visoki. Od ostalih tečnosti, kao mazivo može da služi i voda ili neka druga tečnost koja se koristi u radnom procesu, a ne sme da se meša sa uljem.

Aditivi (dodaci) su hemijska sredstva koja se mešaju sa mazivim uljima u cilju poboljšanja njihovih svojstava. Tako postoje aditivi za povećanje indeksa viskoznosti, za snižavanje temperature stinjanja, za sprečavanje penušanja, za zaštitu od korozije, za smanjenje habanja kliznih površina, itd.

U *konzistentna* ili *polutečna maziva* spadaju tehničke masti, parafini i vazelini. Tehničke masti se dobijaju disperzijom sredstva za zgušćavanje u mineralnom ili sintetičkom ulju. Zgušćivači mogu biti sapunske ili nesapunske osnove.

Masti se primenjuju pretežno kod kotrljajnih ležaja, a kod kliznih ležaja najčešće kada konstrukciono rešenje ne omogućuje primenu ulja ili kada je potrebno zaštititi ležaj od prodiranja nečistoća iz okolne sredine. Masti ispoljavaju veći otpor trenja pri kretanju i zato nisu pogodne za veće učestanosti obrtanja.

Kao *gasovito mazivo* se najčešće primenjuje vazduh, a zatim azot, helijum, kiseonik, vodonik, ugljendioksid itd.

U ležajima mašina i motora, kod kojih je radni fluid neki gas, taj isti gas se može primeniti i kao mazivo za ležaje – na primer kod gasnih turbina, kompresora za vazduh i gasove, kod parnih turbina, kod propelernih merača protoka gasova i slično. U svim ostalim oblastima mašinstva, na primer kod mašina alatki, mernih uređaja, računskih mašina, kao mazivo sredstvo se, skoro isključivo, koristi vazduh.

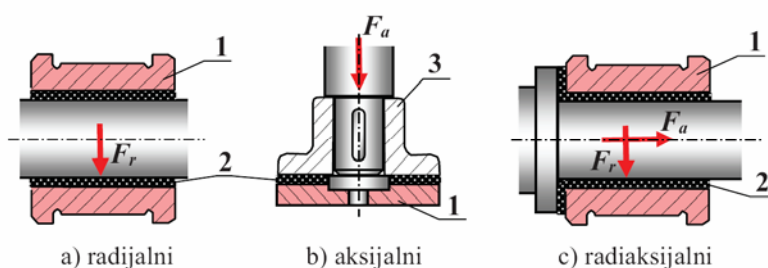
Od *čvrstih maziva* najviše se primenjuju grafit i molibdensulfid koji zbog svoje lamelaste strukture imaju male smicajne napone, odnosno, mali koeficijent trenja. Molibdensulfid se koristi u suvom stanju, a grafit u kombinaciji s vodom. Čvrsta maziva su pogodna za visoke radne temperature, za korodivne i radioaktivne sredine i za rad u uslovima vakuma, a nisu pogodna za velike brzine klizanja.

4.1.2 Vrste kliznih ležaja

Klasifikacija kliznih ležaja može da se vrši na osnovu različitih kriterijuma i to prema:

- pravcu delovanja spoljašnjeg opterećenja – na radijalne, aksijalne i radiaksijalne,
- vrsti primenjenog maziva – na ležaje sa tečnim, polutečnim, gasovitim ili čvrstim mazivom,
- karakteru trenja - na ležaje sa potpunim podmazivanjem i "tečnim trenjem" i na ležaje sa delimičnim podmazivanjem i "mešovitim trenjem".

Na slici 4-2 su date skice radijalnog (a), aksijalnog (b) i radiaksijalnog (c) kliznog ležaja.



Slika 4-2 Vrste kliznih ležaja

Osnovni element svakog radijalnog kliznog ležaja je *posteljica* (1), a aksijalnog - *ploča*, odnosno *prsten* (1).

Kod radijalnog ležaja, rukavac vratila neposredno naleže na posteljicu, a kod aksijalnog se vratilo, po pravilu, ne oslanja direktno čeonom površinom na ploču, nego se na kraj vratila učvršćuje glavčina sa vencem (3), čija fino obrađena

prstenasta površina naleže na ploču. Posteljica radiaksijalnog ležaja ima na jednoj čeonj strani (ili na obe) prstenasto proširenje na koje naleže venac vratila – u cilju prenošenja aksijalne komponente spoljašnje sile. Ako aksijalna sila menja smer u toku rada, neophodno je predvideti oslanjanje i na drugoj čeonj strani posteljice ležaja.

Površine posteljica i ploča su obično obložene slojem antifrikcionog materijala (2), a mazivo se dovodi kanalima na neopterećenoj strani posteljice i putem akumulacionih kanala raspoređuje po širini posteljice. Posteljice i ploče se, po pravilu, ne izrađuju u potpunosti od ležajnog materijala – iz više razloga: materijal za ležaje je skup; ima manju čvrstoću od čelika; u slučaju da se klizna površina ošteti ili istroši, može se lakše obnoviti (obično nalivanjem) što je jeftinije nego da se zamenjuje cela posteljica ili ploča. Posteljica može biti jednodelna (u obliku cilindrične čaure) ali je, zbog lakše montaže, češće dvodelna (sastavljena od dve polucilindrične čaure). Posteljica radijalnog ležaja može takođe da se konstruiše i iz nekoliko cilindričnih segmenata.

4.1.3 Osnovi hidrodinamičke teorije podmazivanja



kalibrisanje na tačnu meru. Kao sastojci se najčešće koriste bakar, kalaj, aluminijum, gvožđe, olovo, grafit i dr. Poroznost materijala iznosi 20-30%. Pore su ispunjene mazivom. Pri zagrevanju se mazivo širi i vrši podmazivanje kontaktne površine. Pogodni su za male brzine i male pritiske (kada nije moguće ostvariti tečno trenje). Imaju mali koeficijent trenja, nizak stepen habanja, miran rad i nisku cenu. Ne mogu se primenjivati za ležaje sa hidrodinamičkim podmazivanjem.

Veštački materijali (politetrafluoretilen – PTFE i druge plastične mase) imaju mali koeficijent trenja i veliku otpornost na habanje. Koeficijent provođenja toplote im je mali, pa zahtevaju dobro hlađenje. Obično se hlade vodom, koja ujedno služi i kao mazivo. Koeficijent linearnog širenja im je veliki.

Guma se koristi za ležaje vodenih turbina, brodskih elisa, pumpi i dr. Podmazivanje se vrši vodom. Guma je neosetljiva na nečistoće.

4.2 KOTRLJAJNI LEŽAJI

4.2.1 Uvod

Kotrljajni ležaji su standardizovani mašinski elementi. Proizvode se u specijalizovanim fabrikama, kao i zavrtnji, navrtke, opruge, zaptivači i dr. Stoga je akcenat izložene materije na pravilnom izboru kotrljajnih ležaja, a ne na načinu i zakonomernosti njihovog konstruisanja.

Način obeležavanja kotrljajnih ležaja je vrlo specifičan. Propisan je međunarodnim standardom ali, nažalost, nije konzistentan. Menjan je pre nekoliko decenija, dakle, moguće je da će se ponovo promeniti. Upravo stoga je u poglavljima koja slede prikazano više primera njegove primene – u cilju što veće jasnoće aktuelnog sistema obeležavanja.

Za ispravan rad kotrljajnog ležaja, tolerancije i zazori su od izuzetnog značaja. Oni su takođe propisani međunarodnim standardima. Tolerancije kotrljajnih ležaja se razlikuju od sistema tolerancija dužinskih mera. Za pravilno propisivanje naleganja vratila i unutrašnjeg prstena – koluta, odnosno, naleganja kućišta i spoljašnjeg prstena – koluta kotrljajnog ležaja, važno je razumeti i poznavati tolerancije dužinskih mera navedenih mašinskih delova i elemenata.

Sem navedenih karakteristika, kod kotrljajnih ležaja su takođe propisani i: oblici i mere sastavnih delova ležaja, tolerancije oblika, materijal, kvalitet radnih površina, način kontrole kao i uslovi ugradnje ležaja.

Pošto se u savremenom mašinstvu koristi više desetina tipova kotrljajnih ležaja, sa velikim brojem (preko milion) modifikacija, u narednim poglavljima se upućuje na jedanaest najvažnijih i najčešće korišćenih tipova ležaja – sa njihovim konstrukcionim i eksploatacionim karakteristikama. Kinematika, opterećenja, naprezanja i naponi delova kotrljajnih ležaja su prezentovani sa aspekta razumevanja navedenih pojmova – u funkciji njihovog pravilnog korišćenja

(montaže, održavanja, demontaže), a ne sa aspekta optimizacije njihove konstrukcije, kao što se radi kod drugih nestandardnih mašinskih elemenata – zupčastih parova, vratila, spojnice i dr.

Ležaje proizvođači isporučuju sklopljene, spremne za ugradnju bez ikakve dorade. Zato *pri konstruisanju mašina i uređaja nema potrebe da se ležaji posebno konstruišu, već se vrši samo izbor odgovarajućih ležaja.*

Da bi konstruktor pravilno izabrao optimalan ležaj, potrebno je da poznaje:

- radne karakteristike pojedinih tipova ležaja,
- uslove ugradnje i
- način na koji se vrši izbor ležaja.

Proizvođači ležaja u svojim katalogima daju podatke o radnim svojstvima ležaja, koja se smatraju garantovanim, kao i one mere (i njihove tolerancije) koje su od značaja za ugradnju. Ove mere su iste kod svih proizvođača, te su ležaji različitih proizvođača zamenljivi. Poznati svetski proizvođači ležaja su: SKF u Švedskoj, INA i FAG u Nemačkoj, TIMKEN u SAD, ZKL u Češkoj, ZVL u Slovačkoj, NSK, KOJO i NTN u Japanu, više proizvođača u Rusiji, Kini i dr. U našoj zemlji kotrljajne ležaje proizvodi FKL u Temerinu.

Kotrljajni ležaji se najčešće sastoje od dva *prstena* ili dva *koluta*, između kojih su *kotrljajna tela*, smeštena u *kavez*. Pomoću kaveza se kotrljajna tela ravnomerno raspoređuju u ležaju. Neki tipovi ležaja poseduju još i posebne elemente za zaptivanje (slici 4-8).

Prstenovi i kotrljajna tela ležaja se izrađuju od čelika, a kavez od čelika, mesinga ili poliamida.

Prema *pravcu spoljašnjeg opterećenja* koje mogu da prenose, kotrljajni ležaji se dele na *radijalne, radiaksijalne, aksijalne i aksiradijalne*.

Radijalni i radiaksijalni ležaji se nazivaju još i *prsteni*, prema obliku osnovnih elemenata, a aksijalni i aksiradijalni - *kolutni*.



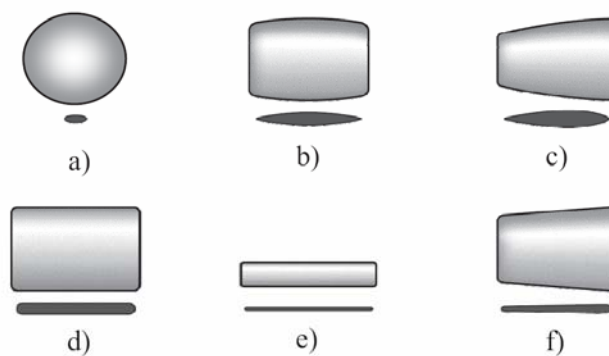
Slika 4-8 Delovi kotrljajnog kugličnog ležaja a) sa metalnim kavezom i b) sa nemetalnim kavezom (zaptivenim samo s jedne strane)

Unutrašnji prsten, odnosno jedan kolot ležaja, učvršćuje se na vratilo, a spoljašnji prsten, odnosno drugi kolot - u kućište.

Prema broju redova kotrljajnih tela, ležaji se dele na: jednorede, dvorede i višeredne.

Prema obliku kotrljajnih tela, ležaji se dele na kuglične i valjčane.

Kotrljajna tela (prikazana na slici 4-9) mogu biti u obliku kuglice (a), valjčića sa kružnolučnom izvodnicom (b), konusnog valjčića sa kružnolučnom izvodnicom (c), valjčića sa pravom izvodnicom (d), iglice (e), i konusnog valjčića sa pravom izvodnicom (f).



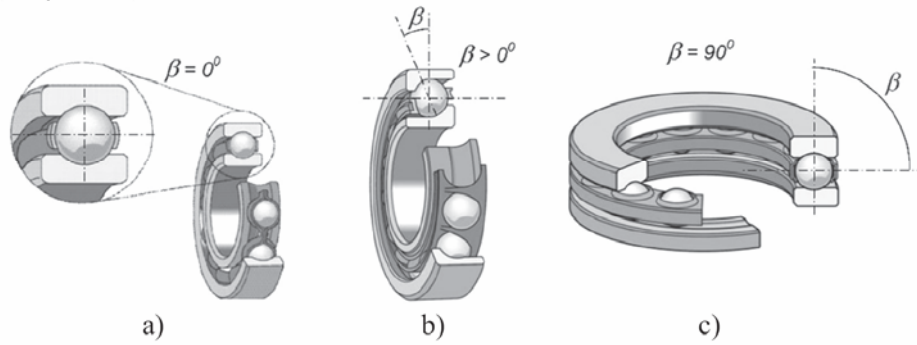
Slika 4-9 Oblici kotrljajnih tela

Kotrljajna tela u obliku valjčića se dodiruju sa prstenovima, odnosno, kolotovima, po liniji – duž izvodnice.

Kod ležaja sa *radijalnim dodirnom* (slici 4-10a), tačke dodira kuglice sa spoljašnjim i sa unutrašnjim prstenom leže na istom radijusu ($\beta = 0$), odnosno, nalaze se u istoj ravni – upravnoj na osu rotacije.

Kod ležaja sa *kosim dodirom* (slici 4-10b), prava koja spaja tačke dodira nagnuta je pod nekim uglom ($\beta > 0$) u odnosu na radijalan pravac.

Kolutni kuglični ležaj može biti sa *aksijalnim* (slici 4-10c) ili sa *kosim* ($0 < \beta < 90^\circ$) *dodirom*.



Slika 4-10 Kotrljajni ležaji

a) radijalni, b) radiaksijalni – sa kosim dodirom i c) aksijalni

5. RAZDVOJIVI SPOJEVI

Sve mašinske konstrukcije, zavisno od složenosti, sastoje se od većeg ili manjeg broja delova, podsklopova i sklopova koji su međusobno povezani različitim vrstama spojeva. Funkcija svakog spoja je prenošenje opterećenja, pod uslovom da čvrstoća spoja nije manja od čvrstoće spojenih delova. Osim ovog uslova, od spoja se mogu zahtevati i dopunski uslovi kao što su: hermetičnost, krutost, pokretljivost, razdvojjivost ili nerazdvojjivost i dr. Shodno ovim uslovima, spojevi mogu biti *razdvojjivi* i *nerazdvojjivi*. Razdvojjivi spojevi mogu se rastaviti na jednostavnije delove bez pojave njihovog razaranja. Takođe, posle rasklapanja isti delovi mogu se ponovo spajati. Primer ovakvog spoja je spoj automobilskog točka i poluvratila. Nerazdvojjivi spojevi, kao što su zavareni spojevi i spojevi ostvareni lemljenjem i zakovicama, se ne mogu rastaviti bez pojave razaranja delova spoja.

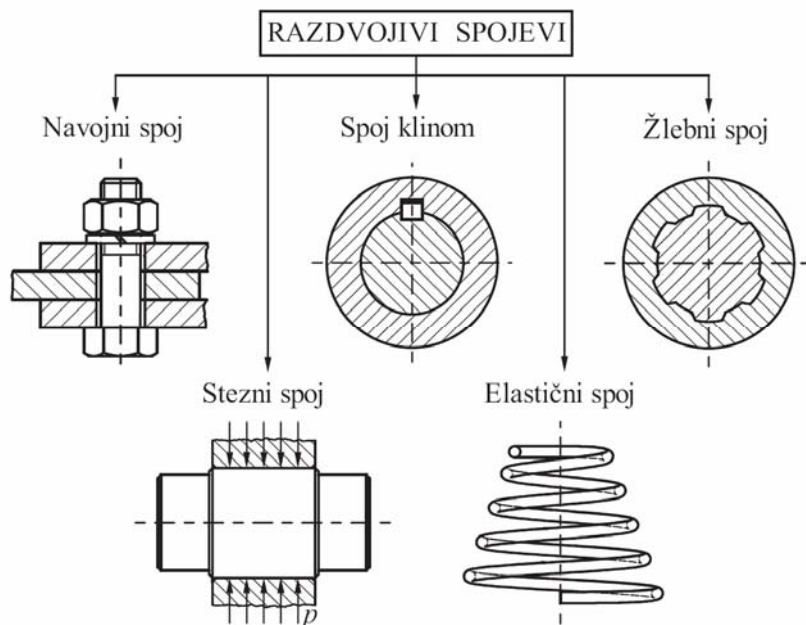
5.1 VRSTE RAZDVOJIVIH SPOJEVA

Na slici 5-1 prikazani su razdvojjivi spojevi koji imaju najveći domen primene u mašinskoj tehnici. Razdvojjivi spojevi mogu biti *čvrsti* i *elastični*. Čvrsti spojevi ne dozvoljavaju pomeranja delova spoja u pravcu dejstva opterećenja. To su navojni spojevi, spojevi ostvareni klinovima, žlebni spojevi i stezni spojevi. Elastični spojevi, ostvareni oprugama, dozvoljavaju pomeranja delova spoja u pravcu dejstva opterećenja.

Navojnim spojevima se ostvaruju čvrsti razdvojjivi spojevi. Ovi spojevi se formiraju standardnim mašinskim delovima zavrtnjevima¹¹, navrtkama i podložnim pločicama. Veliki izbor ovih mašinskih delova u pogledu dimenzija, oblika i vrste navoja omogućio je širok domen primene navojnih spojeva.

Takođe, za formiranje navojnih spojeva koriste se standardni alati, ključevi različitih oblika i dimenzija.

¹¹ Prema dogovoru (standardu) termini vijak i zavrtnj su ravnopravni.

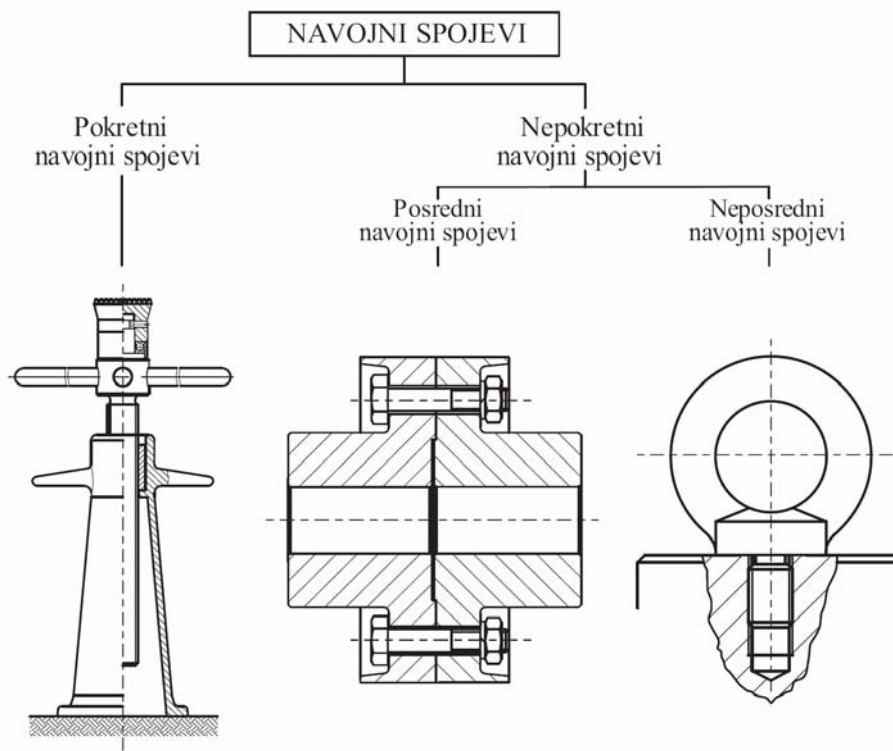


Slika 5-1 Vrste razdvojivih spojeva

5.2 NAVOJNI SPOJEVI

Navojni spojevi su čvrsti razdvojivi spojevi formirani posredstvom navoja. Njihova osnovna karakteristika je lako formiranje spoja i lako razdvajanje spoja, a da se pri tome ne oštete ni navojni spoj ni spojeni delovi. Opšta podela navojnih spojeva prikazana je na slici 5-2. *Pokretni navojni spojevi* su navojni prenosnici snage koji se koriste za pretvaranje obrtnog kretanja jednog dela spoja u translatorno kretanje drugog dela. Izborom odgovarajućeg obrtnog momenta ovim spojevima se može regulisati potrebna aksijalna sila kod presa, ručnih dizalica, svlakača, zatega, itd. Takođe, ovim spojevima se može regulisati i veličina pomeranja, u aksijalnom i tangencijalnom pravcu, kod mernih instrumenata i alatnih mašina. *Nepokretni navojni spojevi* omogućuju prenošenje opterećenja sa jednog dela spoja na drugi deo, bez pojave međusobnog kretanja delova spoja. Ovi spojevi, pored osnovne funkcije prenošenja opterećenja sa jednog dela spoja na drugi deo, često se koriste i za regulisanje sile pritiska između delova spoja u cilju obezbeđenja hermetičnosti spoja.

Neposredni navojni spojevi ostvaruju se bez primene standardnih mašinskih delova – zavrtnjeva. Oni se ostvaruju formiranjem navoja direktno na delovima spoja, slika 5-2. *Posredni navojni spojevi ostvaruju se pomoću posrednika, standardnim mašinskim delovima – zavrtnjima. Ovi spojevi imaju najveći domen primene u tehnici.*



Slika 5-2 Podela navojnih spojeva

5.2.1 Navoj

Geometrijske i kinematske veličine navoja i navojnog para definišu se zavojnicom i zavojnim površinama.

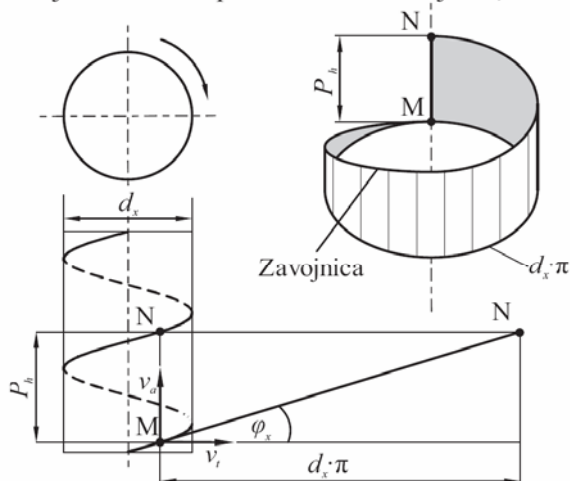
Zavojnica je prostorna kriva koju opisuje materijalna tačka M pri složenom (zavojnom) kretanju: jednolikom kružnom oko nepokretne ose, brzinom v_t i jednolikom translatorskom u pravcu nepokretne ose, brzinom v_a , slika 5-3. Kružna cilindrična zavojnica nastaje zavojnim kretanjem materijalne tačke po površini kružnog cilindra, slika 5-3.

Desna zavojnica nastaje kada se materijalna tačka kreće u smeru kazaljke na časovniku i pri tome se udaljava od posmatrača, posmatrano u pravcu ose zavojnice, slika 5-3. *Leva zavojnica* nastaje kada se materijalna tačka kreće u suprotnom smeru od kazaljke na časovniku i pri tome se udaljava od posmatrača, posmatrano u pravcu ose zavojnice.

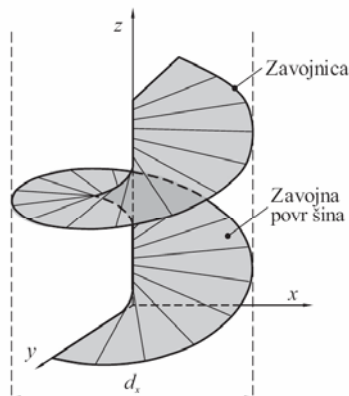
Zavojak je deo zavojnice koji materijalna tačka formira pri jednom punom obrtaju, dužina zavojnice od tačke M do tačke N , slika 5-3.

Hod zavojnice P_h je aksijalno pomeranje materijalne tačke pri formiranju zavojka (aksijalno rastojanje između krajnjih tačaka zavojka, tačke M i tačke N), slika 5-3.

Ugao zavojnice φ_x na cilindru prečnika d_x je oštar ugao između tangente na zavojnicu i ravni upravne na osu zavojnice, slika 5-3.



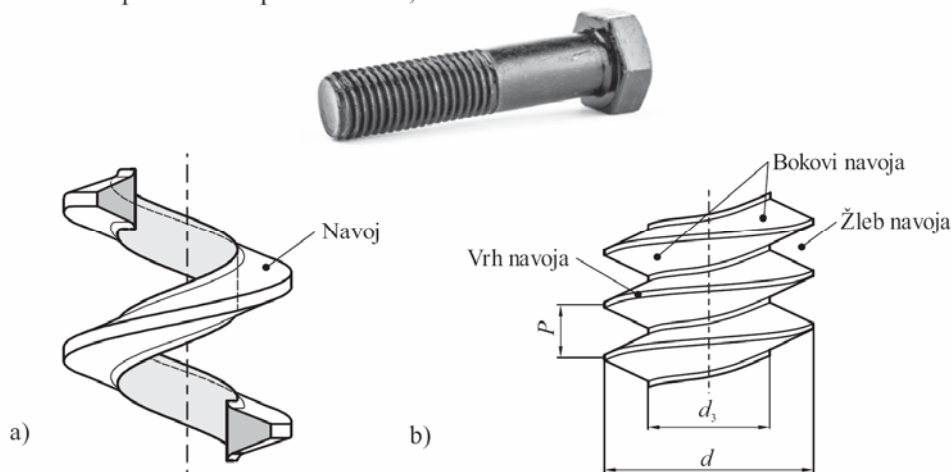
Slika 5-3 Kružna desna cilindrična zavojnica



Slika 5-4 Zavojna površina

Zavojna površina nastaje zavojnim kretanjem pravolinijske izvodnice oko nepokretne ose, slika 5-4. Zavisno od ugla pod kojim pravolinijska zavojnica seče nepokretnu osu (pod uglom od 90° ili različitim od 90°) mogu se formirati zavojne površine različitog oblika. Svaka tačka pravolinijske izvodnice pri zavojnom kretanju oko nepokretne ose, opisuje zavojnicu, slika 5-4.

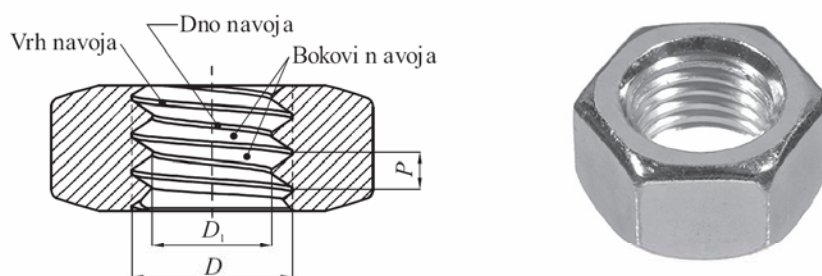
Navoj je geometrijsko telo definisano zavojnim kretanjem geometrijske slike u obliku trapeza oko nepokretne ose, slika 5-5a.



Slika 5-5 Spoljašnji navoj, navoj zavrtnja

Spoljašnji navoj - navoj zavrtnja, je navoj formiran na spoljašnjoj cilindričnoj površini, slika 5-5b.

Unutrašnji navoj - navoj navrtke je navoj formiran na unutrašnjoj cilindričnoj površini, slika 5-6.



Slika 5-6 Unutrašnji navoj, navoj navrtke

Bokovi navoja su zavojne površine navoja, slika 5-5b i slika 5-6.

Vrh navoja je površina koja ograničava navoj po visini i spaja dva susedna boka navoja, slika 5-5b i slika 5-6.