

Aleksandar Dj. Dedić

# OSNOVI MAŠINSTVA

- II deo -

- Beograd, 2008 -

**dr Aleksandar Dedić, docent Šumarskog fakulteta u Beogradu**

**OSNOVI MAŠINSTVA**  
**- II deo -**

**Recezeni:**

- 1.dr Gradimir Danon, redovni profesor Šumarskog fakulteta u Beogradu
- 2.dr Petar Todorović, redovni profesor Šumarskog fakulteta u Beogradu

**Tehnička obrada:**  
**Aleksandar Dedić**

**Izdavač:**

**Za izdavača:**

**Tiraž:**

**Štampa:**

---

Svako umnožavanje i kopiranje bez saglasnosti izdavača i autora nije dozvoljeno, i povlači zakonske sankcije.

## **PREDGOVOR**

Udžbenik predstavlja drugi deo predmeta Osnovi mašinstva, koji slušaju studenti druge godine odseka Prerada drveta. Iako je problematika mašinskih elemenata dosta dobro pokrivena literaturom, smatralo se da ipak treba izdati Udžbenik, kako bi studenti na jednom mestu imali pregled opštih mašinskih elemenata sa kojima će se najčešće susretati kod mašina za preradu drveta i unutrašnjeg transporta. Cilj je bio da se studenti upoznaju sa: podelom mašina prema funkciji, standardizacijom i tolerancijama, vrstama mašinskih elemenata, dobrim i lošim stranama svake vrste, kinematikom i geometrijom mašinskih elemenata, klasifikacijama unutar vrste, osnovnim elementima proračuna čvrstoće kao i materijalima i njihovim svojstvima od kojih su mašinski delovi napravljeni; a sve radi sagledavanja uloge mašinskog elementa na mašini ili uređaju. Udžbenik je podeljen na sedam poglavlja i to: Uvod, Cilj i značaj izučavanja mašinskih elemenata, Opšti deo, Nauka o materijalima, Mašinski elementi, Literatura i Prilozi. Pri tome najveći akcenat je dat na petom poglavlju: Mašinski elementi, koje je i najobimnije i posvećeno mu je najviše nastavnih jedinica predavanja. Takodje, smatralo se da će izdavanje Udžbenika olakšati studentima pripremu ispita iz predmeta Osnovi mašinstva. Studentima se svakako savetuje da prethodno ovladaju znanjima iz: Matematike, Tehničke fizike, Tehničke mehanike i Nacrtna geometrije.

Tokom rada na uloženi je značajan napor kako bi se obimna i složena problematika mašinskih elemenata i njihovog proračuna, sažela u nastavne jedinice u trajanju manje od jednog semestra, i prilagodila potrebama studenata Šumarskog fakulteta, imajući u vidu i pojmove vezane za eksploataciju i pravilno održavanje.

Na kraju, želim da se zahvalim recenzentima: dr Gradimiru Danonu i dr Petru Todoroviću, redovnim profesorima Šumarskog fakulteta u Beogradu, na korisnim savetima i sugestijama, kao i svim čitaocima na eventualno uočenim greškama i dobronamernim primedbama, a u cilju poboljšanja kvaliteta ovog Udžbenika.

**Autor**

U Beogradu, oktobar 2008. godine

## Sadržaj

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Uvod .....                                                           | 6  |
| 2. Cilj i značaj izučavanja mašinskih elemenata .....                   | 6  |
| 3. Opšti deo.....                                                       | 8  |
| 3.1. Standardizacija mašinskih delova i sklopova.....                   | 8  |
| 3.1.1 Redovi brojeva koji se koriste za standardizaciju.....            | 10 |
| 3.1.2 Principi standardizacije.....                                     | 10 |
| 3.2 Tolerancije mašinskih delova i sklopova.....                        | 11 |
| 3.2.1 Tolerancije dužinskih mera .....                                  | 11 |
| 3.2.2 Tolerancije oblika i položaja osa i površi mašinskih delova ..... | 22 |
| 3.2.3 Tolerancije hrapavosti površi .....                               | 24 |
| 3.3 Osnove proračuna mašinskih elemenata .....                          | 26 |
| 3.3.1 Radna opterećenja mašinskih elemenata .....                       | 27 |
| 3.3.2 Radni naponi u mašinskim delovima .....                           | 28 |
| 3.3.3 Stepen sigurnosti mašinskog dela .....                            | 31 |
| 4. Nauka o materijalima .....                                           | 35 |
| 4.1 Materijali u mašinstvu .....                                        | 35 |
| 4.2 Izbor materijala .....                                              | 36 |
| 4.3 Metalni materijali .....                                            | 37 |
| 4.3.1 Železne legure .....                                              | 38 |
| 4.3.2 Ugljenični i legirani čelici .....                                | 38 |
| 4.3.3 Podela čelika .....                                               | 40 |
| 4.3.4 Konstrukcioni čelici .....                                        | 44 |
| 4.3.4.1 Opšti konstrukcioni čelici .....                                | 44 |
| 4.3.4.2 Čelici za cementaciju .....                                     | 45 |
| 4.3.5 Alatni čelici .....                                               | 46 |
| 4.3.6 Livena gvoždja .....                                              | 47 |
| 4.3.7 Aluminiyum i njegove legure .....                                 | 49 |
| 4.3.8 Magnezijum i njegove legure .....                                 | 51 |
| 4.3.9 Bakar i njegove legure .....                                      | 53 |
| 4.3.10 Termička obrada čelika .....                                     | 54 |
| 4.3.10.1 Kaljenje .....                                                 | 55 |
| 4.3.10.2 Otpuštanje .....                                               | 57 |
| 4.3.10.3 Poboljšanje .....                                              | 58 |
| 4.3.11 Termička obrada livenih gvoždja .....                            | 58 |
| 4.3.12 Termohemijske obrade .....                                       | 59 |
| 4.3.12.1 Cementacija .....                                              | 59 |
| 4.3.12.2 Nitiranje .....                                                | 60 |
| 4.3.12.3 Hromiranje .....                                               | 60 |
| 4.3.13 Korozija metala .....                                            | 61 |
| 5. Mašinski elementi .....                                              | 67 |
| 5.1 Elementi za vezu .....                                              | 67 |
| 5.1.1 Nerazdvojive veze .....                                           | 67 |
| 5.1.1.1 Zakovani spojevi .....                                          | 67 |
| 5.1.1.2 Zavareni spojevi.....                                           | 70 |
| 5.1.1.3 Zalemljeni spojevi.....                                         | 73 |



|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1.2 Razdvojive veze .....                                   | 76  |
| 5.1.2.1 Spojevi klinovima .....                               | 76  |
| 5.1.2.2 Žljebni spojevi .....                                 | 79  |
| 5.1.2.3 Navojni spojevi .....                                 | 80  |
| 5.1.2.4 Opruge .....                                          | 92  |
| 5.2 Elementi za prenos snage .....                            | 97  |
| 5.2.1 Zupčasti parovi .....                                   | 98  |
| 5.2.1.1 Izrada zupčanika .....                                | 104 |
| 5.2.1.2 Nortonov prenosnik .....                              | 106 |
| 5.2.1.3 Podmazivanje pokretnih elemenata prenosnika .....     | 107 |
| 5.2.1.4 Oblici razaranja bokova zubaca .....                  | 107 |
| 5.2.2 Kaišni i remeni parovi .....                            | 108 |
| 5.2.2.1 Stepenasti kaišnik .....                              | 115 |
| 5.2.2.2 Kontinualni kaišni prenosnik .....                    | 117 |
| 5.2.3 Lančani prenosnici .....                                | 118 |
| 5.2.4 Užetni prenosnici .....                                 | 121 |
| 5.2.5 Frikcioni parovi .....                                  | 123 |
| 5.3 Elementi za prenos obrtnog kretanja .....                 | 126 |
| 5.3.1 Vratila i osovine .....                                 | 126 |
| 5.3.2 Ležaji.....                                             | 135 |
| 5.3.3 Spojnice.....                                           | 144 |
| 5.4 Primer prenosnika kod mašine za preradu drveta .....      | 153 |
| 5.5 Elementi za transport fluida .....                        | 154 |
| 6. Mehanizmi za prenos obrtnog u pravolinijsko kretanje. .... | 163 |
| 7. Literatura .....                                           | 170 |
| 8. Prilozi .....                                              | 172 |

## SPISAK NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH OZNAKA\*

$A$  ( $m^2$ ) - površina  
 $a$  (m) - osno rastojanje  
 $b$  (mm) – širina  
 $C$  (-) - koeficijent  
 $d$  (mm) – prečnik  
 $F$  (N) – sila  
 $h$  (mm) – visina  
 $i$  (-) – br. sastavaka u vezi  
 $L$  (mm) – dubina prodiranja  
 $l$  (mm) – dužina  
 $n$  (-) – br. zakivaka  
 $n$  ( $s^{-1}$ ,  $min^{-1}$ ) – br. obrta  
 $m$  (-) – br. stepena prenosa  
 $M$  (Nm) – moment  
 $M_s$  (Nm) – moment savijanja  
 $M_u$  (Nm) – moment uvijanja  
 $P$  (mm) – korak navoja  
 $p$  ( $N/mm^2$ ) – pritisak  
 $p_{doz}$  ( $N/mm^2$ ) – dozvoljeni pritisak  
 $R_m$  ( $N/mm^2$ ) – zatezna čvrstoća  
 $R_e$  ( $N/mm^2$ ) – napon na granici tečenja  
 $S$  (-) – stepen sigurnosti  
 $t$  (mm) – dubina žljeba za klin  
 $\alpha$  ( $^\circ$ , rad) – ugao  
 $\alpha$  (-) – koeficijent svodjenja savijanja na uvijanje  
 $\beta$  ( $^\circ$ , rad) – ugao  
 $\varphi$  (-) – faktor geometrijske promene broja obrta  
 $\gamma$  (-) – vučni koeficijent pritezanja  
 $\eta$  (-) – koeficijent iskorišćenja  
 $\mu$  (-) – koeficijent trenja  
 $\sigma$  ( $N/mm^2$ ) – normalni napon  
 $\tau$  ( $N/mm^2$ ) – tangencijalni napon

\* Ostale oznake date su na mestu gde se pozivaju u tekstu.

## **PREDGOVOR POGLAVLJA 1, 2 i 3**

*U uvodnom poglavlju objašnjeni su pojmovi mašinski sistem i mašina i izvršena klasifikacija mašinskih sistema sa stanovišta namene.*

*Drugo poglavlje govori o cilju i sadržaju izučavanja mašinskih elemenata, upoznaje nas sa hijerarhijom delova u mašini, pojmom mašinskog elementa i daje podelu opštih mašinskih elemenata prema elementarnoj funkciji koju obavljaju na mašini. Objašnjene su i tri osnovne celine iz kojih bi svaka mašina trebalo da se sastoji.*

*U trećem poglavlju dati su pojmovi vezani za standardizaciju mašinskih delova i sklopova, objašnjeni pojmovi vrsta i principa standardizacije i formiranja standardnih nizova brojeva, kao i tolerancije dužinskih mera, tolerancije oblika i položaja površina i osa delova i tolerancije hrapavosti obradjenih površina. Student se upoznaje i sa osnove proračuna mašinskih elemenata, vrstama radnih opterećenja koja izazivaju radne napone, i načinom izračunavanja stepena sigurnosti u zavisnosti da li su prisutna statička ili dinamička opterećenja, ili dva ili više opterećenja koja izazivaju složeno naponsko stanje.*

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

### 1. UVOD

Mašinski sistem predstavlja materijalizovani proizvod ljudskog rada koji vrši samostalnu i odredjenu, čoveku potrebnu, funkciju. Mašina predstavlja deo mašinskog sistema koji obavlja samostalnu funkciju u njemu. Primer mašinskog sistema u drvenoj industriji bila linija za proizvodnju šper-ploča, a mašine i uređaji u tom sistemu: ljuštilica za furnir, valjčani transoportor, sušara i presa za dobijanje šper-ploče. Ukoliko ne postoje drugi delovi sistema, pojam mašina izjednačava se sa pojmom mašinski sistem.

Sa stanovišta namene mašinski sistemi mogu biti: **izvršni, energetske i posebne namene**. Izvršni sistemi vrše neki koristan rad, na primer, mašinski sistemi u: industriji prerade metala, preradi drveta, građevinarstvu, saobraćaju, poljoprivredi, hemijskoj i prehrambenoj industriji, rudarstvu i metalurgiji i dr. U energetskim sistemima se vrši pretvaranje jednog oblika energije u drugi, kao što je na primer, pretvaranje hidro ili toplotne energije u elektroenergiju u hidroelektranama odnosno termoelektranama. Mašinski sistemi posebne namene ostvaruju neke posebne funkcije, kao što su na primer u naoružanju: radarski i raketni sistemi.

### 2. CILJ I ZNAČAJ IZUČAVANJA MAŠINSKIH ELEMENATA

Mašinski elementi su opšte stručna disciplina čiji je cilj izučavanje osnovnih komponenata mašina koje ulaze u sastav većine ili svih mašinskih sistema odnosno konstrukcija. Poznavanje mašinskih elemenata treba da omogući konstruisanje, izbor i komponovanje ovih elemenata u složene strukture mašina različitih namena. Inženjer prerade drveta treba da se upozna sa kinematikom i osnovnim elementima proračuna mašinskih elemenata, kako bi sagledao princip rada i izvršio pravilan izbor mašinskih sistema koji se koriste u preradi drveta. Kako rešenja često nisu jednoznačna, nekada izbor optimalnog rešenja predstavlja pravo umeće. Za ovaj izbor značajno je učešće inženjerskog razmišljanja i odlučivanja, koje se stiče tokom studija i koje bi u ovoj fazi obrazovanja trebalo da počne da se izgrađuje.

Komponente mašinskih sistema izučavaju se sa gledišta njihove funkcije, namene odnosno oblasti primene. Proračun koji se zasniva na analizi radnih i kritičnih stanja (napona), stepena sigurnosti i krutosti, izvodi se sa ciljem da se sagledaju postupci za izbor standardnih delova (komponenta) i za konstruisanje nestandardnih.

Sama mašina se sastoji iz većeg broja funkcionalno povezanih delova. Onaj deo koji se ne može više rastavljati naziva se osnovni mašinski deo ili mašinski deo. Više tako funkcionalno povezanih delova čine mašinski sklop. Više mašinskih sklopova i delova funkcionalno povezanih čine mašinsku grupu. Više mašinskih grupa, sklopova i delova funkcionalno povezanih čine mašinu.

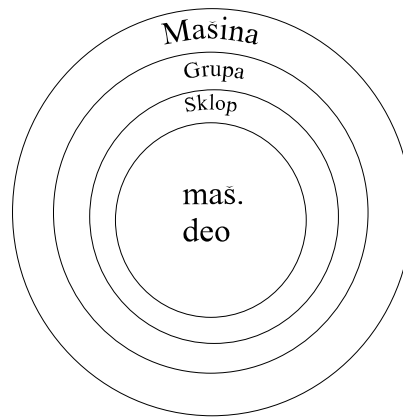
**Mašinski element** je mašinski deo, mašinski potsklop ili mašinski sklop koji izvršava elementarnu funkciju na mašini ili u konstrukciji.

Na slici 1. šematski je prikazana hijerarhija delova u mašini.

Mašinski elementi se dele na: opšte i posebne mašinske elemente. Opšti mašinski elementi se koriste na svim ili na većini mašina, dok se posebni ugrađuju samo u nekim mašinama (uređajima). Tako na primer vijak i navrtka (navojni spoj) spada u opšte mašinske elemente, dok klipni mehanizam se koristi samo kod klipnih mašina pa spada u posebne. Međutim, treba imati u vidu da je broj elementarnih funkcija u mašinama znatno veći od broja mašinskih elemenata. Zato se u nedostatku odgovarajućih mašinskih elemenata razvijaju specifični izvršioci date elementarne funkcije. Taj novi izvršilac

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

elementarne funkcije postaje novi mašinski element ako se ponavlja na drugim mašinama u toj užoj ili široj oblasti mašinstva.



**Slika 2.1:** Shematski prikaz hijerarhije delova u mašini

Opšti mašinski elementi se dele na:

1.) elemente za vezu:

- a) nerazdvojni spojevi
  - zakovani spojevi
  - zavareni spojevi
  - zalemljeni spojevi
- b) razdvojni spojevi
  - navojni spojevi
  - presovani spojevi
  - spojevi klinovima
  - elastični spojevi (opruge)

2.) elementi za prenos snage:

- frikcionni prenosnici
- kaišni prenosnici
- zupčani parovi
- lančani prenosnici
- užetni prenosnici

3.) elementi za obrtno kretanje:

- osovine i vratila
- ležaji : klizni i kotrljajni
- spojnice

4.) elementi za prenos tečnosti i gasova:

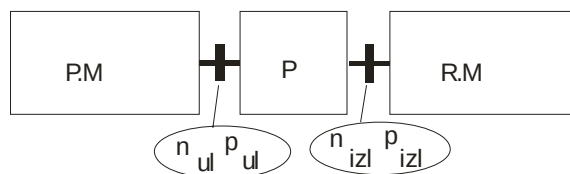
- sudovi pod pritiskom
- cevne armature
- ventili
- razvodnici

Mašina, kao deo mašinskog sistema, sastoji se iz tri osnovne celine :

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

- 1) Pogonskog dela (elektro-motor, motor sa unutrašnjim sagorevanjem, turbina) koji pretvara izvornu energiju u mehaničku.
- 2) Prenosnika koga sačinjavaju elementi za prenos snage i obrtno kretanje, a zadatak mu je da prenese energiju za potrebe radnog dela mašine.
- 3) Radnog dela koji pretvara energiju u koristan rad (nosač alata alatne mašine, pritiskivač prese, rotor pumpe i dr.)

Na slici 2 prikazana je povezanost pogonskog i radnog dela preko prenosnika u okviru same mašine.



**Slika 2.2:** Povezanost tri osnovne celine u mašinskom sistemu

Prenosnici prenose energiju od izvora do radne mašine i prilagođavaju je njenim potrebama i o njima će biti posebno reči kasnije.

### 3. OPŠTI DEO

Oblast izučavanja mašinskih elemenata je dosta heterogena i teško je ustanoviti neka opšta pravila izučavanja. Ipak neka uopštenja se mogu uspostaviti jer su osnovne smernice u izučavanju svakog od mašinskih elemenata:

- karakteristike i podela
- geometrijske mere i tolerancije
- naponska stanja, proračun čvrstoće i radnog veka
- izbor dimenzija i optimalnih parametara mašinskih elemenata

Dimenzije mašinskih elemenata koje se dobijaju proračunom treba uskladiti sa tehničkim propisima (standardima) ili se iz skupa (familije) standardnih delova odabiraju standardni delovi ili sklopovi. Za izračunavanje dimenzija i za usvojene oblike propisuju se dozvoljena odstupanja – tolerancije.

#### 3.1. STANDARDIZACIJA MAŠINSKIH DELOVA I SKLOPOVA

Standardizacija se sprovodi u cilju: pojednostavljenja proizvodnje i procesa konstruisanja mašinskih delova i sklopova, mogućnosti zamenjivosti istih na mašinama, poboljšanja kvaliteta proizvoda, kao i otklanjanje spornih pitanja na relaciji proizvođač-korisnik proizvoda. Sve ovo utiče na nižu cenu mašinskog dela ili sklopa, jer proizvod uskladjen sa standardima je prihvatljiviji i ekonomičniji za: konstruisanje, eksploataciju i održavanje.

Standard je dokument koji sadrži zahteve za proizvod u vidu: njegovih tehničkih karakteristika, postupaka proizvodnje ili metoda ispitivanja i ocenjivanja usaglašenosti proizvoda sa zahtevima. Može se reći i da standardi predstavljaju tehničke propise na internacionalnom ili nacionalnom nivou. Oni nisu obavezni za primenu kao što je to slučaj sa zakonima i direktivama, ali značajni pozitivni efekti standarda omogućavaju njihovu široku primenu i bez korišćenja sredstava prinude.

Standardi proističu iz razvoja nauke i tehnike u svim oblastima čovekove delatnosti, a za njihovo pisanje potrebno je dobro iskustvo i dugotrajna praksa.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Prema nivou, standardi se dele na: međunarodni (ISO), regionalni (EN), nacionalni (SRPS, GOST, ASA i dr.), granski i interni.

Nacionalni (državni) standardi kao što su: SRPS (Srbija), GOST (Rusija), ASA (Amerika), itd. imaju primenu o okviru svojih zemalja. Međunarodna organizacija za standardizaciju (International Standardizing Organization) – ISO donosi standarde koji predstavljaju preporuke za formiranje nacionalnih standarda. S toga su ISO – preporuke usaglašeni propisi koje uglavnom prihvataju nacionalni standardi radi uklapanja u međunarodne tokove. Svakako da ima i odstupanja. Neke zemlje vrlo teško prihvataju međunarodne norme dok su neke druge vrlo uporne da u ISO-preporuke unesu što više svojih propisa. S druge strane, nacionalne organizacija za standarde i druge organizacije predlažu ISO – komisijama donošenje odgovarajućih propisa, a predlozi se usvajaju, usaglašavaju ili odbijaju javnom procedurom uključujući i otvorene skupove gde učestvuju ovlašćeni predstavnici nacionalnih organizacija za standarde. Svakako da vodeću ulogu u oblasti standardizacije imaju razvijene industrijske zemlje. Danas su to uglavnom zemlje Evropske unije koje imaju svoj regionalni standard EN.

Srpski standard (SRPS) uglavnom prihvata preporuke međunarodnog (ISO) standarda i standarda evropske unije (EN). Oznaka SRPS-standarda sastoji se iz alfanumeričkih znakova u obliku SRPS X.XX.XXX:XXXX. Prva oznaka X – odnosi se na oblast (granu) standardizacije, za mašinstvo slovo M, za preradu drveta D, za metalurgiju C, itd. Drugu grupu od dva znaka XX čini oznaka grupe standarda na primer A1, B3, C2, itd. Treća grupa od tri znaka XXX rezervisana je za redni broj standarda. Četvrta grupa od četiri cifre XXXX predstavlja godinu kada je standard donesen. Primeri označavanja standarda bili bi:

SRPS M.B1.024:1986- Vijci za drvo – Tehnički uslovi  
SRPS M.C1.010:1988 - Zupčanici – Osnovni nazivi i definicije

Ako je standard usaglašen sa standardom: ISO, EN ili nekim drugim standardom onda pored oznake SRPS sadrži i oznaku sa brojem izvornog standarda i godinu kada je on donesen. Tako je na primer:

SRPS EN 15570:2010 - Okov za nameštaj — Čvrstoća i trajnost šarki i njihovih  
komponenata — Šarke sa otvaranjem oko vertikalne ose  
SRPS ISO 6194-1:1997 - Zaptivke za vratila - Deo 1: Nazivne mere i tolerancije

Institut za standardizaciju Srbije koji se bavi donošenjem i izdavanjem nacionalnih standarda. Na sajtu [www.iss.rs](http://www.iss.rs) Instituta mogu se pronaći standardi prema njihovoj oznaci ili naslovu. Kako je za pisanje standarda neophodno iskustvo i dobra praksa, pri Institutu za standardizaciju Srbije se formiraju komisije od stručnih ljudi iz pojedinih oblasti koje donose standarde u tim oblastima.

Međunarodna klasifikacija standarda (ICS) zasnovana na hijerarhijskoj strukturi koja se sastoji od tri nivoa. Prvi nivo obuhvata područje aktivnosti u standardizaciji, npr.: mašine i mašinski elementi za opštu upotrebu, pretvaranje i prenos energije i toplote, tehnologija papira i sl. Svako područje ima dvocifrenu odrednicu, npr.:

### 79      TEHNOLOGIJA DRVETA

U drugom nivou sva područja podeljena su na grupe. Oznaka svake grupe sastoji se iz prethodno spominjane odrednice područja i trocifrenog broja odvojenog tačkom od nje. Na primer:

#### 79.120    Oprema za obradu drveta

Treći nivo je nivo podgrupe. Oznaka podgrupe sastoji se iz oznake grupe i dvocifrenog broja odvojenog tačkom od nje. Na primer:

79.120.20 Alati za obradu drveta

### 3.1.1 REDOVI BROJEVA KOJI SE KORISTE ZA STANDARDIZACIJU

Standardima se određuju i numeričke vrednosti fizičkih veličina kao što su: dužinske mere, površine, razmere, tolerancije, karakteristike materijala, opterećenja itd. Njihovu raznovrsnost treba smišljeno ograničiti na što manju meru, a opet sa druge strane treba zadovoljiti potrebu za njihovim različitim vrednostima. Način za formiranje numeričkih nizova po kojima fizičke veličine dobijaju vrednosti su redovi brojeva: R5, R10, R20, R40 i R80. Ti nizovi su dobijeni primenom geometrijske progresije sa faktorima porasta  $q = 10^{1/5} = 1,6$  za R5;  $q = 10^{1/10} = 1,25$  za R10;  $q = 10^{1/20} = 1,12$  za R20;  $q = 10^{1/40} = 1,06$  za R40 i na kraju za R80 faktor porasta je  $q = 10^{1/80} = 1,03$ . Svaki član u nizu standardnih numeričkih vrednosti određene fizičke veličine dobija se množenjem predhodnog člana reda sa faktorom porasta ( $q$ ). Na taj način je:

$$a_i = a_{i-1} \cdot q = a_0 \cdot q^{i-1}; \quad i = 1, n$$

gde je:

$a_0$  – početna vrednost u nizu (osnovni član reda),

$n$  – br. članova u nizu.

Na određenom intervalu svaki sledeći niz od pomenutih ima dvostruko više brojeva. Najveći razmak izmedju brojeva je u redu R5, a najmanji u najgušćem redu R80. Preporuka je da se upotrebljavaju redovi sa manjim razmakom, kako bi postojao veći izbor standardnih vrednosti za usvajanje. Medjutim, sam izbor treba vršiti prema potrebi, odnosno prema vrsti fizičke veličine koja se standardizuje.

Vrednosti fizičkih veličina koje predstavljaju standard dobijaju se i na osnovu naučnih istraživanja, eksperimenata, iskustava u proizvodnji i u eksploataciji. U slučaju više različitih izvora, izbor se vrši na bazi različitih kriterijuma uključujući tehničke, ekonomske, ekološke i mnoge druge. Dakle, osnove za formiranje standarda su znanja i iskustva, a potom standardni redovi i familije konstrukcionih oblika.

### 3.1.2 PRINCIPI STANDARDIZACIJE

Može se reći da principi standardizacije obuhvataju nivoe poredjane po hijerarhiji. Ti nivoi su:

- Standardizacija fizičkih karakteristika,
- Standardizacija mašinskih delova i polufabrikata,
- Standardizacija sklopova i konstrukcija,
- Standardizacija postupaka i procesa.

Početni nivo je standardizacija fizičkih karakteristika kao što su: dužinske mere (npr. debljine limova ili dimenzije standardnih profila), svojstva materijala i dr. Sledeći nivo je standardizacija mašinskih delova i sklopova, uključujući tu i polufabrikate i slične objekte. Ona omogućuje da se pomenuti objekt u potpunosti definiše. Definiše se oblik koji se zajedno sa dimenzijama, dobijenih preko geometrijskih redova, razvija u familiju. Propisuje se materijal, parametri kvaliteta, tolerancije, označavanje, način izrade, način provere kvaliteta i isporuke. Poslednji nivo je standardizacija postupaka i procesa. Ovde se standardizuju



postupci ispitivanja delova i konstrukcija, postupci proračuna, postupci prikazivanja (crtanja), postupci definisanja tolerancija itd.

### 3.2 TOLERANCIJE MAŠINSKIH DELOVA I SKLOPOVA

Mašinski delovi imaju određen oblik koga definišu različite površine čiji su međusobni položaji propisani dimenzijama. U proizvodnji nije moguće idealno tačno izraditi predviđene mere i oblike mašinskih delova koje propisuje crtež. Ovo je posledica: odstupanja mašina i alata, odstupanja kvaliteta izabranog materijala i nesavršenosti poslužilaca mašina. Na primer: glavno vreteno mašine odstupa od idealnog položaja, istrošena rezna površina alata, neravna površina lima od kojeg se izrađuje deo, poslužilac mašine nije dobro stegao pripremak na mašini niti doveo alat u tačno predviđen početni položaj i sl. Odstupanja u izradi mašinskog dela mogu biti manja ili veća. Izrada delova visoke tačnosti koja podrazumeva mala odstupanja je skupa. S druge strane, proizvedeni delovi nedovoljne tačnosti će neispravno izvršavati predviđenu funkciju. Sve ovo nameće potrebu da se odstupanja propišu i stave u određene granice. To su tolerancije koje propisuju dozvoljena odstupanja u odnosu na tačne vrednosti. Standardima su predviđene:

- Tolerancije dužinskih mera,
- Tolerancije oblika i položaja površina i osa delova i
- Tolerancije hrapavosti obradjenih površina.

Prilikom izrade mašinskog crteža poželjno je propisati ove tolerancije. Ovo je od posebnog značaja ukoliko je u pitanju crtež mašinskog dela koji je u dodiru sa drugim delovima. Tolerancije omogućavaju lakšu zamenjivost mašinskih delova, a time i ekonomičnost proizvodnje. Iz pomenutih opštih se izvode tolerancije za pojedinačne mašinske elemente kao što su tolerancije: navoja, zupčanika, ležaja i dr. Tolerancije za pojedinačne mašinske elemente definišu specifičnosti oblika i funkcija koje izvršavaju ovi delovi.

#### 3.2.1 TOLERANCIJE DUŽINSKIH MERA

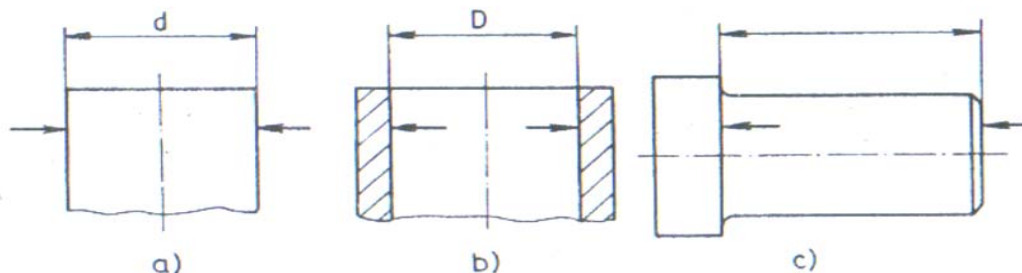
Tolerancije dužinskih mera definisane su standardima ISO 286-1 i ISO 286-2. Ovim standardima propisuju se osnovni pojmovi i označavanje, kao i daju osnove sistema tolerancija.

Dužinske mere određuju veličine mašinskih delova. One se unose na crtež prilikom kotiranja. Prema načinu merenja dužinskih mera na mašinskom delu razlikujemo: spoljne, unutrašnje i neodređene mere. Pri merenju spoljne mere, pipci mernog instrumenta prilaze sa spoljne strane površine tj. obuhvataju mašinski deo (slika 3.1a). Ove mere obeležavaju se malim slovima. Pri utvrđivanju unutrašnjih mera pipci mernog instrumenta prilaze sa unutrašnje strane, a obeležavaju se velikim slovima (slika 3.1b). Kod neodređenih mera jedan pipak prilazi sa unutrašnje strane, a drugi sa spoljne (slika 3.1c). Mogu se svrstati u grupu spoljnih ili unutrašnjih mera po slobodnom izboru.

**Nazivna mera** ( $d$ ,  $D$ ) je ona mera koja se unosi na crtež u vidu kotnog broja. Može biti spoljašnja i unutrašnja. Ovu meru se ne očekuje da ima mašinski deo nakon izrade. Ona definiše nultu liniju (0-0) od koje se meri odstupanje (sl. 3.2).

**Granične mere** su definisane granice između kojih treba da se izradi dužinska mera. Gornja granična mera ( $d_g$ ,  $D_g$ ) je najveća dozvoljena mera, dok je donja granična mera ( $d_d$ ,  $D_d$ ) najmanja dozvoljena mera. Razlika između gornje i donje granične mere je tolerancija  $t = d_g - d_d$ ,  $T = D_g - D_d$ .

**Stvarna mera** ( $d_s, D_s$ ) je mera koja se dobija neposrednim merenjem izradjenog mašinskog dela. Kaže se da je ispravna, ako se nalazi između donje i gornje granične mere tj. kad je  $D_d < D_s < D_g$  odnosno  $d_d < d_s < d_g$ . Ako je stvarna mera izvan granica tolerancije i ako se ne može doradom dovesti u granice predviđenih tolerancija naziva se *loša mera*. ( $d_s < d_d, D_s > D_g$ ). Kod spoljne mere skinuto je previše materijala, a kod unutrašnje otvor je previše proširen. Materijal se ne može dodavati te je ovaj mašinski deo loš, za odbacivanje je. Ako se stvarna mera



**Slika 3.1:** Vrste dužinskih mera: a) spoljna, b) unutrašnja, c) neodređena

naknadnom doradom može dovesti u granice tolerancije, naziva se *dobra mera* ( $d_s > d_d, D_s < D_d$ ). Mašinski deo nije za odbacivanje, može se doraditi tj. spoljna mera skratiti ili unutrašnja proširiti.

**Odstupanje** je razlika između neke navedene mere i nazivne mere. Može biti gornje granično odstupanje ( $a_g, A_g$ ), donje granično odstupanje ( $a_d, A_d$ ) i stvarno odstupanje ( $a_s, A_s$ ), tj.:

$$\begin{aligned} a_g &= d_g - d & A_g &= D_g - D \\ a_d &= d_d - d & A_d &= D_d - D \\ a_s &= d_s - d & A_s &= D_s - D \\ t &= a_g - a_d & T &= A_g - A_d \end{aligned}$$

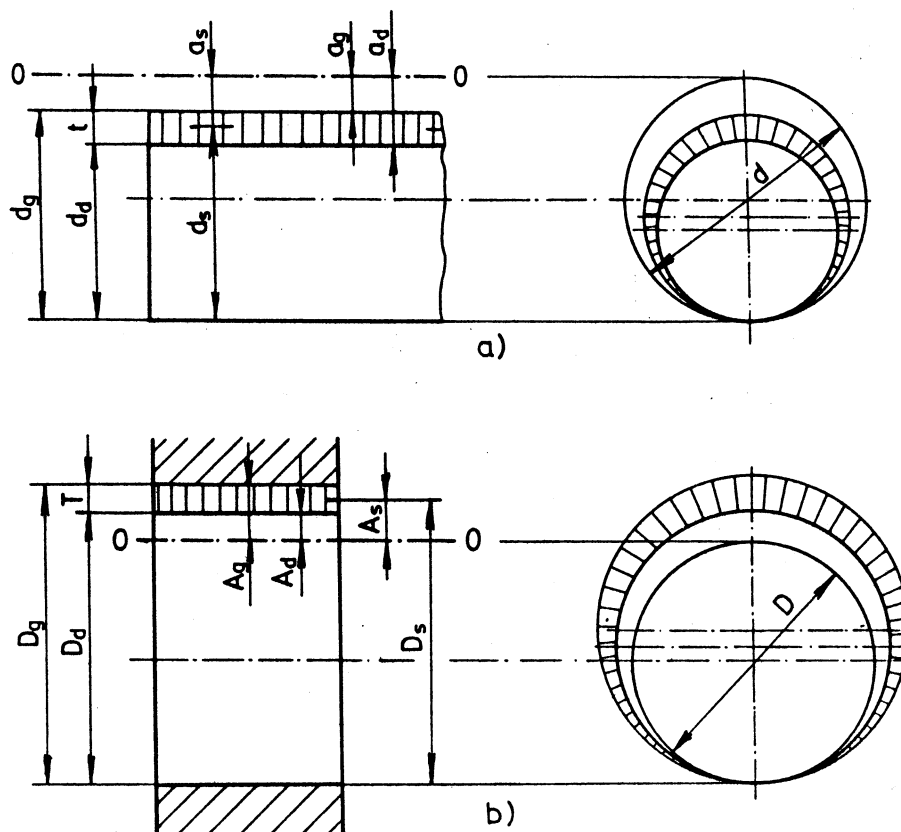
Pri tome gornje granično odstupanje može se označiti i sa *es* od francuskih reči (*ecart superior*), a donje granično odstupanje sa *ei* od francuskih reči (*ecart inferior*).

Odstupanje se meri u odnosu na nultu liniju i može biti pozitivno i negativno. Odstupanje je vrlo mala veličina u odnosu na dužinsku meru. Izražava se u mikrometrima, dok se dužinske mere u mašinstvu iskazuju u milimetrima. Kako odstupanje i dužinska mera nisu u istoj razmeri, prikaz kao na slici 3.2 je nepogodan. To je razlog da se odstupanja prikazuju na posebnom dijagramu odstupanja odnosno dijagramu tolerancijskih polja (sl. 3.3).

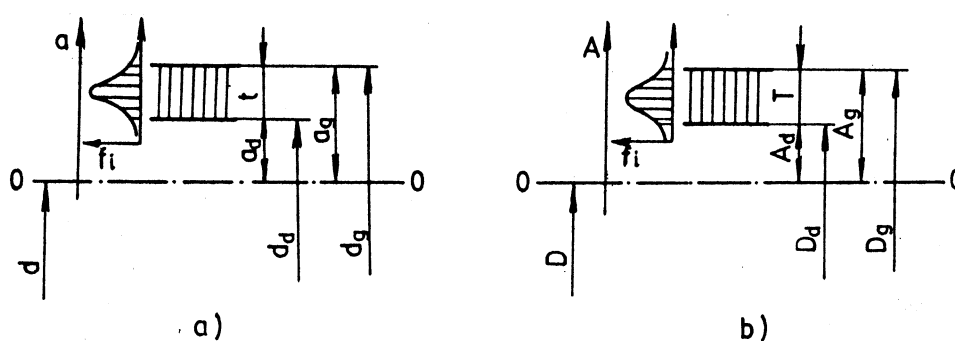
**Tolerancijsko polje** je dozvoljena oblast u kojoj se može naći stvarna mera. Veličina ovog polja je za spoljnu meru  $t$ , a za unutrašnju  $T$ . Uvek treba težiti da se izradom mašinskog dela dobije stvarna mera u sredini tolerancijskog polja, pa se mašine i alati tako podešavaju. Iako je najveći broj izrađenih delova je sa ovom stvarnom merom, neke mere odstupaju. Iznad tolerancijskog polja na slici 3.3 prikazana je distribucija izrađenih mera odnosno učestanost njihove pojave  $f_i$ . Vidimo da je učestanost graničnih mera i mera izvan tolerancijskog polja mala. Pošto je tih komada malo, oni se dorađuju ili odbacuju.

Za opis rasipanja stvarnih mera, najčešće se koristi normalna, tj. Gausova raspodela. U sredini tolerancijskog polja je obično tačka nagomilavanja, mada može biti pomerena na jednu stranu (asimetrična raspodela). Tehnološki proces je bolji ako je raspodela simetrična i ako je više spljoštena (manje rasturanje u okviru tolerancijskog polja), što se postiže

preciznijim mašinama. Ukoliko se veliki broj izradjenih komada nalazi izvan tolerancijskog polja potrebno je dopunsko podešavanje mašine i alata.



**Slika 3.2:** Mere i odstupanja: a) čepova, odnosno spoljne mere, b) otvora, odnosno unutrašnje mere



**Slika 3.3:** Dijagrami tolerancijskih polja: a) za spoljnu meru, b) za unutrašnju meru

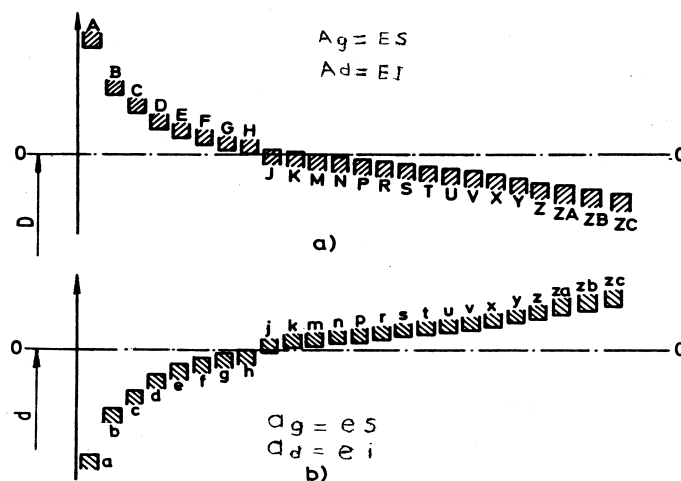
#### - Parametri tolerancijskog polja

Tolerancijsko polje suštinski određuju tri parametra: veličina nazivne mere, stepen tolerancije i položaj tolerancijskog polja. Preko ovih parametara međunarodni standard ISO definiše veličinu i način određivanja graničnih odstupanja i označavanje tolerancijskog polja.

- 1) *Veličina nazivne mere* – Postoje dve oblasti prema veličini nazivne mere. Prva je za nazivnu meru od 1 do 500mm, a druga od 500 do 3150mm. Prva oblast nazivnih mera podeljena je na 13 područja, a druga na osam. Područja u kojima je manja vrednost nazivne mere su uža, a ona sa većim vrednostima nazivne mere su šira.
- 2) *Stepen tolerancije* – ISO standardom je predviđeno 20 stepena tolerancije: IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, IT4, ..., IT18). Oznaka IT potiče od naziva Internacionalna Tolerancija. Povećavanjem rednog broja kvaliteta u ovom nizu povećava se veličina tolerancijskog polja, tj. povećava se područje dozvoljene varijacije stvarne mere. Početni članovi niza, do IT4, primenjuju se u preciznoj mehanici, a u mašinstvu naredni viši članovi. Prema stepenima tolerancije i nazivnoj meri tabelarno se daje veličina tolerancijskog polja  $t$  odnosno  $T$  (standard ISO 286). Sa povećanjem stepena tolerancije povećava se veličina tolerancijskog polja.
- 3) *Položaj tolerancijskog polja* označava se slovima latinice: A, B, C..., ZS za unutrašnju meru odnosno a, b, c, ..., zs za spoljnu meru (slika 3.4). Udaljenost tolerancijskog polja od nulte linije (0-0), a time i njegov položaj definisan je jednim od graničnih odstupanja  $A_g=ES$  ili  $A_d=EI$  tj.  $a_g=es$  ili  $a_d=ei$ . Ovako određena veličine tolerancijskih polja, u standardima se daju u tabličnom obliku.

Ovi parametri tolerancijskog polja utiču na oznaku tolerancije dužinske mere. Na primer oznaku  $\varnothing 70 K7$  ili  $\varnothing 90 g6$  čini nazivna mera  $\varnothing 70$  odnosno  $\varnothing 90$ , položaj tolerancijskog polja K (otvor) odnosno g (čep) i stepen tolerancije IT7 odnosno IT6. Na osnovu nazivne mere i oznake položaja tolerancijskog polja (K, odnosno g) određuje se jedno od graničnih odstupanja (sl. 3.4), i to ono bliže nultoj liniji. Dodavanjem veličine tolerancijskog polja  $t$ , odnosno  $T$ , određuje se drugo granično odstupanje koje je dalje od nulte linije. Za izabrana tolerancijska polja i za izabrane kvalitete tolerancija, formiraju se i tablice koje sadrže oba odstupanja, donje i gornje. Time je postupak određivanja graničnih odstupanja završen.

Na tehničkom crtežu se oznaka tolerancije unosi neposredno na kotnoj liniji pored nazivne mere, a odstupanja se daju u zasebnoj tablici u uglu crteža, izražena u milimetrima.



**Slika 3.4:** Položaj tolerancijskih polja: a) unutrašnjih mera, b) spoljašnjih mera

- **Naleganja**

U praksi je čest slučaj naleganja delova istih nazivnih mera od kojih je jedna spoljna, a druga unutrašnja. Naleganja podrazumeva međusobni odnos delova u smislu njihove pokretljivosti i međusobnog uticaja. Pravilnim izborom naleganja ovaj uticaj možemo smanjiti ili povećati. Naleganja mogu biti: čvrsta, labava i neizvesna.

1) *Čvrsto naleganje* predstavlja naleganje delova iste nazivne mere kod kojih je stvarna mera otvora manja od stvarne mere čepa ( $D_s < d_s$ ). Ova razlika predstavlja preklop i njegove vrednosti imaju negativni predznak:

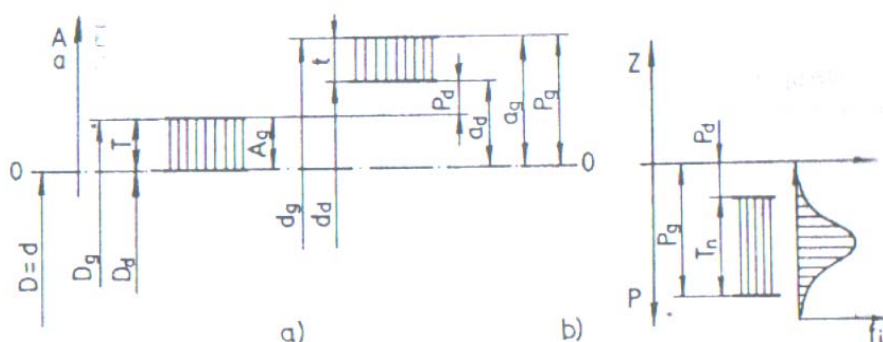
$$P_s = D_s - d_s = A_s - a_s < 0$$

Preklop se ostvaruje nasilnim utiskivanjem čepa u otvor. Sila otpora koja se suprotstavlja utiskivanju jednog dela u drugi, ili razdvajanju sklopljenih delova zavisi od veličine preklopa. Najmanji preklop nastaje sklapanjem najvećeg mogućeg otvora i najmanjeg mogućeg čepa (slika 3.5a):

$$P_d = D_g - d_d = A_g - a_d$$

dok najveći preklop odgovara spoju otvora sa najmanjim prečnikom ( $D_d$ ) i čepa najvećeg prečnika ( $d_g$ ).

$$P_g = D_d - d_g = A_d - a_g$$



**Slika 3.5:** Čvrsto naleganje: a) dijagram tolerancijskih polja otvora i čepa, b) dijagram preklopa – tolerancije naleganja

Stvarni preklop varira u granicama između  $P_d$  i  $P_g$  odnosno  $P_d < P_s < P_g$  po apsolutnim vrednostima. Kako je već ranije navedeno, učestanost pojavljivanja graničnih mera mala tako da je i učestanost graničnih preklopa mala, pa se oni redje ostvaruju. Najučestanije su srednje veličine preklopa:  $P_{sr} = (P_g + P_d)/2$ .

Tolerancija naleganja ( $T_n$ ) je područje dozvoljene varijacije preklopa, a izračunava se:

$$T_n = |P_g| - |P_d| = T + t$$

Dakle, kod čvrstog naleganja moguć je samo preklop.

2) *Labavo naleganje* predstavlja naleganje delova iste nazivne mere kod kojih je stvarna mera otvora veća od stvarne mere čepa ( $D_s > d_s$ ). Ova razlika predstavlja zazor i pozitivna je:

$$Z_s = D_s - d_s = A_s - a_s > 0$$

Kao i u slučaju preklopa razmatraće se sklapanje otvora sa najvećim prečnikom i čepa najmanjeg prečnika, pri čemu se dobija najveći zazor (slika 3.6a):

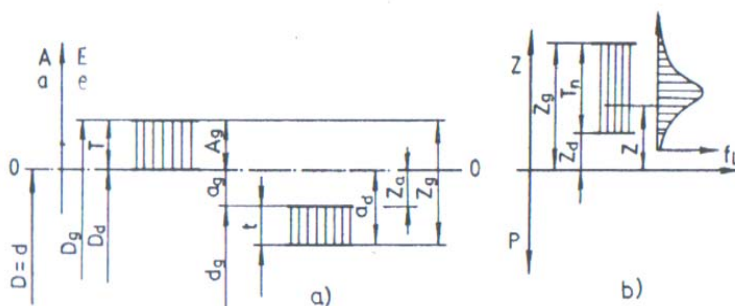
$$Z_g = D_g - d_d = A_g - a_d$$

Sklop otvora najmanjeg prečnika sa čepom najvećeg prečnika daće najmanji zazor:

$$Z_d = D_d - d_g = A_d - a_g$$

U kvalitetnoj proizvodnji granični zazori  $Z_d$  i  $Z_g$  imaju malu verovatnoću pojavljivanja, dok su najučestanije srednje veličine preklopa:  $Z_{sr} = (Z_g + Z_d)/2$ . Područje dozvoljenog rasipanja (variranja) zazora, predstavlja toleranciju naleganja (slika 3.6b):

$$T_n = Z_g - Z_d = T + t$$



**Slika 3.6:** Labavo naleganje: a) dijagram tolerancijskih polja, b) dijagram zazora – tolerancije naleganja

Shodno ovome, kod labavog naleganja moguć je samo zazor. Sklopljeni delovi su međusobno pokretni i sklapaju se bez primene sile.

3) *Neizvesno naleganje* je moguće sa malim preklopom ili malim zazorom. U zavisnosti od izabranih stvarnih mera  $D_s$  i  $d_s$  otvora i čepova, neizvesno naleganje može postati čvrsto ( $D_s < d_s$ ) sa malim preklopom ili labavo ( $D_s > d_s$ ) sa malim zazorom. Najveći mogući preklop nastaje sklapanjem najmanjeg otvora sa najvećim čepom:

$$P_g = D_d - d_g = A_d - a_g < 0$$

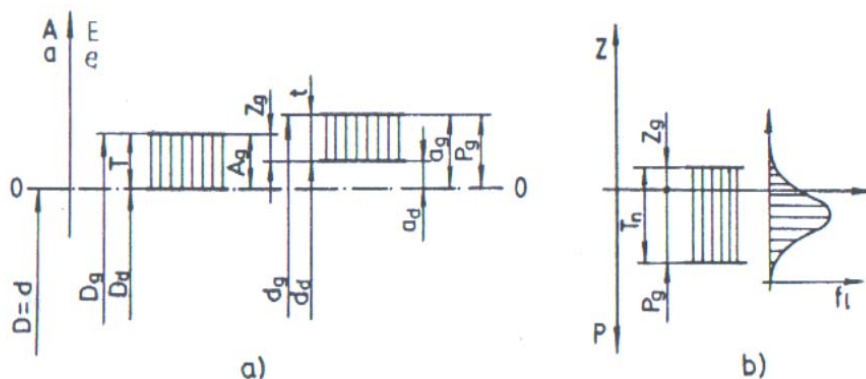
Najveći mogući zazor odgovara spoju najvećeg otvora i najmanjeg čepa:

$$Z_g = D_g - d_d = A_g - a_d > 0$$

Dijagram preklopa i zazora sa tolerancijom naleganja:

$$T_n = Z_g - P_g = T + t$$

dat je na slici 3.7. Ona predstavlja područje dozvoljene varijacije zazora, odnosno preklopa. Stvarni preklap po apsolutnoj vrednosti može biti u granicama  $0 < P_s < P_g$ , a stvarni zazor može biti u granicama  $0 < Z_s < Z_g$ .



**Slika 3.7:** Neizvesno naleganje: a) dijagrami tolerancijskih polja otvora i čepa, b) dijagram zazora i preklopa odnosno tolerancije naleganja

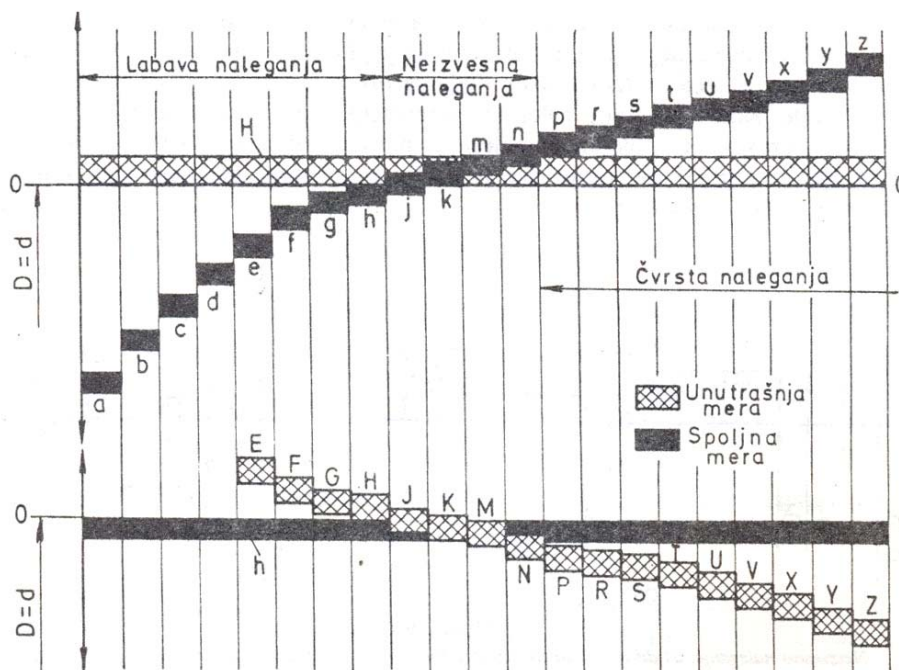
Ako se uporede slike 3.5, 3.6 i 3.7 može se zaključiti sledeće. Kod čvrstog naleganja tolerancijsko polje za čep je iznad tolerancijskog polja za otvor, a tolerancija naleganja ispod nulte linije. Kod labavog naleganja tolerancijsko polje za otvor je iznad tolerancijskog polja za čep, a tolerancija naleganja je iznad nulte linije. Kod neizvesnog naleganja tolerancijska polja za otvor i čep se međusobno preklapaju, a tolerancija naleganja preseca nultu osu. Na ovaj se može se prepoznati naleganje pre nego što se pristupi izračunavanju konkretnih vrednosti mogućih zazora ili preklopa.

### - Sistemi naleganja

Kada bi se dopustile sve moguće kombinacije položaja tolerancijskih polja pri formiranju naleganja njih bi bilo jako mnogo. Zato je njihov broj potrebno ograničiti iz tehnoloških i ekonomskih razloga. S toga se mogu se formirati kombinacije samo u okviru sistema naleganja, a to su: sistem zajedničke tolerancije spoljne i sistem zajedničke tolerancije unutrašnje mere.

U sistemu zajedničke tolerancije spoljne mere (SZSM) svi prečnici čepova su sa tolerancijskim poljem  $h$ . Varijacijom položaja tolerancijskih polja prečnika otvora od  $A$  do  $Z$ , dobijaju se labava, čvrsta i neizvesna naleganja. U sistemu zajedničke tolerancije unutrašnje mere (SZUM) prečnici otvora su sa tolerancijskim poljem  $H$ . Labava, čvrsta i neizvesna naleganja se dobijaju izborom tolerancijskog polja prečnika čepa od  $a$  do  $z$  (sl. 3.8). U praksi je više zastupljen SZUM. Kako su za završnu obradu otvora potrebni različiti alati (burgije, strugarski noževi za unutrašnju obradu, točila i sl.), da bi se smanjio njihov asortiman, vrlo je racionalno da se dopuštena odstupanja prečnika otvora definišu samo tolerancijskim poljem  $H$ . Pri korišćenju familije standardnih delova sa spoljnom merom bolje je koristiti SZSM. Ove mere su u tolerancijskom polju  $h$  i mogu se upariti sa otvorom čije se tolerancijsko polje bira prema potrebnom naleganju.





**Slika 3.8:** Sistemi naleganja: a) sistem zajedničke unutrašnje mere (SZUM), b) sistem zajedničke spoljne mere (SZSM)

**Familije naleganja** se formiraju kako bi dalje smanjili izbor mogućih naleganja. Ove familije se razlikuju po stepenu tolerancije. U okviru SZSM to su h5, h6, h7, h8, itd., a u okviru SZUM to su H6, H7, H8, H9, itd. Dalje sužavanje broja naleganja vrši se izborom prioriteta naleganja. Postoje naleganja I, II i III stepena prioriteta. Najviše se primenjuju naleganja I stepena prioriteta čiji je broj relativno mali (tabele 3.1 i 3.2).

**Tabela 3.1:** Prioritetna tolerancijska polja za unutrašnje mere (Ognjanović, 2008)

| Naz. mera<br>mm<br>iznad...do | D10          | E9           | F7          | H6       | H7       | H8       | H9        | H11       | J7         | J8         | K7         | K8         | M7       |
|-------------------------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| 1...3                         | +60<br>+20   | +39<br>+14   | +16<br>+6   | +6<br>0  | +10<br>0 | +14<br>0 | +25<br>0  | +60<br>0  | +4<br>-6   | +6<br>-8   |            |            | 0<br>-12 |
| 3...6                         | +78<br>+30   | +50<br>+20   | +22<br>+10  | +8<br>0  | +12<br>0 | +18<br>0 | +30<br>0  | +75<br>0  | +6<br>-6   | +10<br>-8  |            |            | 0<br>-12 |
| 6...10                        | +98<br>+40   | +61<br>+25   | +28<br>+13  | +9<br>0  | +15<br>0 | +22<br>0 | +36<br>0  | +90<br>0  | +8<br>-7   | +12<br>-10 | +5<br>-10  | +6<br>-16  | 0<br>-15 |
| 10...18                       | +120<br>+50  | +75<br>+32   | +34<br>+16  | +11<br>0 | +18<br>0 | +27<br>0 | +43<br>0  | +110<br>0 | +10<br>-8  | +15<br>-12 | +6<br>-12  | +8<br>-19  | 0<br>-18 |
| 18...30                       | +149<br>+65  | +92<br>+40   | +41<br>+20  | +13<br>0 | +21<br>0 | +33<br>0 | +52<br>0  | +130<br>0 | +12<br>-9  | +20<br>-13 | +6<br>-15  | +10<br>-23 | 0<br>-21 |
| 30...50                       | +180<br>+80  | +112<br>+50  | +50<br>+25  | +16<br>0 | +25<br>0 | +39<br>0 | +62<br>0  | +160<br>0 | +14<br>-11 | +24<br>-15 | +7<br>-18  | +12<br>-27 | 0<br>-25 |
| 50...80                       | +220<br>+100 | +134<br>+60  | +60<br>+30  | +19<br>0 | +30<br>0 | +46<br>0 | +74<br>0  | +190<br>0 | +18<br>-12 | +28<br>-18 | +14<br>-21 | +20<br>-32 | 0<br>-30 |
| 80...120                      | +260<br>+120 | +159<br>+72  | +71<br>+36  | +22<br>0 | +35<br>0 | +54<br>0 | +87<br>0  | +220<br>0 | +22<br>-13 | +34<br>-20 | +10<br>-25 | +16<br>-38 | 0<br>-35 |
| 120...180                     | +350<br>+145 | +215<br>+85  | +96<br>+43  | +29<br>0 | +46<br>0 | +72<br>0 | +115<br>0 | +290<br>0 | +30<br>-14 | +47<br>-22 | +13<br>-28 | +22<br>-43 | 0<br>-40 |
| 180...250                     | +355<br>+170 | +215<br>+100 | +96<br>+50  | +29<br>0 | +46<br>0 | +72<br>0 | +115<br>0 | +290<br>0 | +30<br>-16 | +47<br>-25 | +13<br>-33 | +22<br>-50 | 0<br>-46 |
| 250...315                     | +400<br>+190 | +240<br>+110 | +108<br>+56 | +32<br>0 | +52<br>0 | +81<br>0 | +130<br>0 | +320<br>0 | +36<br>-16 | +55<br>-26 | +16<br>-36 | +25<br>-56 | 0<br>-52 |
| 315...400                     | +440<br>+210 | +265<br>+125 | +119<br>+62 | +36<br>0 | +57<br>0 | +88<br>0 | +140<br>0 | +360<br>0 | +39<br>-18 | +60<br>-29 | +17<br>-40 | +28<br>-61 | 0<br>-57 |
| 400...500                     | +480<br>+230 | +290<br>+135 | +131<br>+68 | +40<br>0 | +63<br>0 | +97<br>0 | +155<br>0 | +400<br>0 | +43<br>-20 | +66<br>-31 | +18<br>-45 | +29<br>-68 | 0<br>-63 |

NAPOMENA: U sistemu zajedničke spoljne mere preporučuju se sledeća naleganja:

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | A11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | B9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | B11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | C9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | C11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | D10 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | E8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | E9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | H6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H12 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H13 |  |  |  |  |  |  |
|                      | J6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | J7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | A11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | B9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | B11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | C9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | C11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | D10 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | E8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | E9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | H6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H12 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H13 |  |  |  |  |  |  |
|                      | J6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | J7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | A11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | B9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | B11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | C9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | C11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | D10 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | E8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | E9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | H6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H12 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H13 |  |  |  |  |  |  |
|                      | J6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | J7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | H6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H12 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H13 |  |  |  |  |  |  |
|                      | J6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | J7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | A11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | B9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | B11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | C9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | C11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | D10 |  |  |  |  |  |  |
|                      | D11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | E8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | E9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | F8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | G7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |     |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6  |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | X7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z7  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Z8  |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA7 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZA8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZB9 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC8 |  |  |  |  |  |  |
|                       | ZC9 |  |  |  |  |  |  |

|  | h5 | h6 | h8 | h9 | h11 | h12 | h13 |
|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|  | +  | +  | +  | +  | +   | +   | +   |

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa zazorom | H6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H8  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H9  |  |  |  |  |  |  |
|                      | H11 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H12 |  |  |  |  |  |  |
|                      | H13 |  |  |  |  |  |  |
|                      | J6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | J7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | K7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | M7  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N6  |  |  |  |  |  |  |
|                      | N7  |  |  |  |  |  |  |

|                       |      |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|------|--|--|--|--|--|--|
| Naleganje sa prelupom | P6   |  |  |  |  |  |  |
|                       | P7   |  |  |  |  |  |  |
|                       | R6   |  |  |  |  |  |  |
|                       | R7   |  |  |  |  |  |  |
|                       | S6   |  |  |  |  |  |  |
|                       | S7   |  |  |  |  |  |  |
|                       | T6   |  |  |  |  |  |  |
|                       | T7   |  |  |  |  |  |  |
|                       | U6   |  |  |  |  |  |  |
|                       | U7</ |  |  |  |  |  |  |



**Tabela 3.1:** Prioritetna tolerancijska polja za unutrašnje mere (nastavak)

| Naz. mera<br>mm<br>iznad...do | M8  | N7  | N8   | P7   | R7   | S7   | S8   | T7   | T8   | T9   | U8   | X8   | C11  |
|-------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1...3                         |     | -4  |      |      | -6   | -10  | -14  | -14  |      |      |      | -20  | +120 |
|                               |     | -14 |      |      | -16  | -20  | -24  | -28  |      |      |      | -34  | +60  |
| 3...6                         |     | -4  | -2   |      | -8   | -11  | -15  | -19  |      |      |      | -28  | +145 |
|                               |     | -16 | -20  |      | -20  | -23  | -27  | -37  |      |      |      | -46  | +70  |
| 6...10                        | +1  | -4  | -3   |      | -9   | -13  | -17  | -23  |      |      |      | -34  | +170 |
|                               | -21 | -19 | -25  | -24  | -28  | -32  | -45  |      |      |      |      | -56  | +80  |
| 10...14                       |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      | -40  |      |
|                               | +2  | -5  | -3   | -11  | -16  | -21  | -28  |      |      |      |      | -67  | +205 |
| 14...18                       | -25 | -23 | -30  | -29  | -34  | -39  | -55  |      |      |      |      | -45  | +95  |
|                               |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      | -72  |      |
| 18...24                       |     | -7  | -3   | -14  | -20  | -27  | -35  |      |      |      |      | -54  | +240 |
|                               | +4  | -29 | -28  | -36  | -35  | -41  | -48  | -68  |      |      |      | -87  | +110 |
| 24...30                       |     |     |      |      |      |      |      | -33  | -41  | -41  | -48  | -64  | +97  |
|                               |     |     |      |      |      |      |      | -54  | -74  | -92  | -81  | -97  |      |
| 30...40                       |     |     |      |      |      |      |      | -39  | -48  | -48  | -60  | -80  | +280 |
|                               | +5  | -8  | -3   | -17  | -25  | -34  | -43  | -64  | -87  | -110 | -99  | -119 | +120 |
| 40...50                       | -34 | -33 | -42  | -42  | -50  | -59  | -82  | -45  | -54  | -54  | -70  | -97  | +290 |
|                               |     |     |      |      |      |      |      | -70  | -93  | -116 | -109 | -136 | +130 |
| 50...65                       |     |     |      |      | +30  | -42  | -53  | -55  | -66  | -66  | -87  | -122 | +330 |
|                               | +3  | -9  | -4   | -21  | -60  | -72  | -99  | -85  | -112 | -140 | -133 | -168 | +140 |
| 65...80                       | -41 | -39 | -50  | -51  | -32  | -48  | -59  | -64  | -75  | -75  | -102 | -146 | +340 |
|                               |     |     |      |      | -62  | -78  | -105 | -94  | -121 | -149 | -148 | -192 | +150 |
| 80...100                      |     |     |      |      | -38  | -58  | -71  | -78  | -91  | -91  | -124 | -178 | +390 |
|                               | +6  | -10 | -4   | -24  | -73  | -93  | -125 | -113 | -145 | -178 | -178 | -232 | +170 |
| 100...120                     | -48 | -45 | -58  | -59  | -41  | -66  | -79  | -91  | -104 | -104 | -144 | -210 | +400 |
|                               |     |     |      |      | -76  | -101 | -133 | -126 | -158 | -191 | -198 | -264 | +180 |
| 120...140                     |     |     |      |      | -48  | -77  | -92  | -107 | -122 | -122 | -170 | -248 | +450 |
|                               |     |     |      |      | -88  | -117 | -155 | -147 | -185 | -222 | -233 | -311 | +260 |
| 140...160                     | +8  | -12 | -4   | -28  | -50  | -85  | -100 | -119 | -134 | -134 | -190 | -280 | +400 |
|                               | -55 | -52 | -67  | -68  | -90  | -125 | -163 | -159 | -197 | -234 | -253 | -344 | +210 |
| 160...180                     |     |     |      |      | -53  | -93  | -108 | -131 | -146 | -146 | -210 | -310 | +480 |
|                               |     |     |      |      | -93  | -133 | -171 | -171 | -209 | -246 | -273 | -373 | +230 |
| 180...200                     |     |     |      |      | -60  | -105 | -122 | -149 | -166 | -166 | -236 | -350 | +530 |
|                               |     |     |      |      | -106 | -151 | -194 | -195 | -238 | -281 | -308 | -422 | +240 |
| 200...225                     | +9  | -14 | -5   | -33  | -63  | -113 | -130 | -163 | -180 | -180 | -258 | -385 | +550 |
|                               | -63 | -60 | -77  | -79  | -109 | -159 | -202 | -209 | -252 | -295 | -330 | -457 | +260 |
| 225...250                     |     |     |      |      | -67  | -123 | -140 | -179 | -196 | -196 | -284 | -425 | +570 |
|                               |     |     |      |      | -113 | -169 | -213 | -225 | -268 | -311 | -356 | -497 | +280 |
| 250...280                     |     |     |      |      | -74  | -138 | -158 | -198 | -218 | -218 | -315 | -475 | +630 |
|                               | +9  | -14 | -5   | -36  | -126 | -190 | -239 | -250 | -299 | -348 | -396 | -556 | +300 |
| 280...315                     | -72 | -66 | -86  | -88  | -78  | -150 | -170 | -220 | -240 | -240 | -350 | -525 | +650 |
|                               |     |     |      |      | -130 | -202 | -251 | -272 | -321 | -370 | -431 | -606 | +330 |
| 315...355                     |     |     |      |      | -87  | -169 | -190 | -247 | -268 | -268 | -390 | -590 | +720 |
|                               | +11 | -16 | -5   | -41  | -144 | -226 | -279 | -304 | -357 | -408 | -479 | -679 | +360 |
| 355...400                     | -78 | -73 | -94  | -98  | -93  | -167 | -208 | -273 | -294 | -294 | -434 | -635 | +760 |
|                               |     |     |      |      | -150 | -244 | -297 | -330 | -383 | -434 | -524 | -740 | +400 |
| 400...450                     |     |     |      |      | -103 | -209 | -232 | -307 | -330 | -330 | -490 | -840 | +440 |
|                               | +11 | -17 | -6   | -45  | -166 | -272 | -319 | -370 | -427 | -485 | -587 | -880 | +480 |
| 450...500                     | -86 | -80 | -103 | -108 | -109 | -229 | -252 | -337 | -360 | -360 | -540 | -880 | +480 |
|                               |     |     |      |      | -172 | -292 | -349 | -400 | -457 | -515 | -637 | -980 | +880 |

**Tabela 3.2:** Prioritetna tolerancijska polja za spoline mere (Ognjanović, 2008)

| Naz. mera<br>mm<br>iznad...do | d9           | e9           | f8          | f7          | g6         | h5       | h6       | h7       | h8       | h9        | h10       | h11       | j6         |
|-------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 ...3                        | -20<br>-45   | -14<br>-39   | -6<br>-20   |             | -2<br>-8   | 0<br>-4  | 0<br>-6  | 0<br>-10 | 0<br>-14 | 0<br>-25  | 0<br>-40  | 0<br>-60  | +4<br>-7   |
| 3... 6                        | -30<br>-60   | -20<br>-50   | -10<br>-28  |             | -4*<br>-12 | 0<br>-4  | 0<br>-8  | 0<br>-12 | 0<br>-18 | 0<br>-30  | 0<br>-48  | 0<br>-75  | +6<br>-2   |
| 6... 10                       | -40<br>-76   | -25<br>-61   | -13<br>-35  | -13<br>-28  | -5<br>-14  | 0<br>-6  | 0<br>-9  | 0<br>-15 | 0<br>-22 | 0<br>-36  | 0<br>-58  | 0<br>-90  | +7<br>-2   |
| 10... 18                      | -50<br>-93   | -32<br>-75   | -16<br>-43  | -16<br>-34  | -6<br>-17  | 0<br>-8  | 0<br>-11 | 0<br>-18 | 0<br>-27 | 0<br>-43  | 0<br>-70  | 0<br>-110 | +8<br>-3   |
| 18... 30                      | -65<br>-117  | -40<br>-92   | -20<br>-53  | -20<br>-41  | -7<br>-20  | 0<br>-9  | 0<br>-13 | 0<br>-21 | 0<br>-33 | 0<br>-52  | 0<br>-84  | 0<br>-130 | +9<br>-4   |
| 30 ... 50                     | -80<br>-142  | -50<br>-112  | -25<br>-64  | -25<br>-50  | -9<br>-25  | 0<br>-11 | 0<br>-16 | 0<br>-25 | 0<br>-39 | 0<br>-62  | 0<br>-100 | 0<br>-160 | +11<br>-5  |
| 50 ... 80                     | -100<br>-174 | -60<br>-134  | -30<br>-76  | -30<br>-60  | -10<br>-29 | 0<br>-13 | 0<br>-19 | 0<br>-30 | 0<br>-46 | 0<br>-74  | 0<br>-120 | 0<br>-190 | +12<br>-7  |
| 80... 120                     | -120<br>-207 | -72<br>-159  | -36<br>-90  | -36<br>-71  | -12<br>-34 | 0<br>-15 | 0<br>-22 | 0<br>-35 | 0<br>-54 | 0<br>-87  | 0<br>-140 | 0<br>-220 | +13<br>-9  |
| 120... 180                    | -145<br>-245 | -85<br>-185  | -43<br>-106 | -43<br>-83  | -14<br>-39 | 0<br>-18 | 0<br>-25 | 0<br>-40 | 0<br>-63 | 0<br>-100 | 0<br>-160 | 0<br>-250 | +14<br>-11 |
| 180 ...250                    | -170<br>-285 | -100<br>-215 | -50<br>-122 | -50<br>-96  | -15<br>-44 | 0<br>-20 | 0<br>-29 | 0<br>-46 | 0<br>-72 | 0<br>-115 | 0<br>-185 | 0<br>-290 | +16<br>-13 |
| 250... 315                    | -190<br>-320 | -110<br>-240 | -56<br>-137 | -56<br>-108 | -17<br>-49 | 0<br>-23 | 0<br>-32 | 0<br>-52 | 0<br>-81 | 0<br>-130 | 0<br>-210 | 0<br>-320 | +16<br>-16 |
| 315 ...400                    | -210<br>-350 | -125<br>-165 | -62<br>-151 | -62<br>-119 | -18<br>-54 | 0<br>-25 | 0<br>-36 | 0<br>-57 | 0<br>-89 | 0<br>-140 | 0<br>-230 | 0<br>-360 | +18<br>-18 |
| 400 ... 500                   | -230<br>-385 | -135<br>-290 | -68<br>-165 | -68<br>-131 | -20<br>-60 | 0<br>-27 | 0<br>-40 | 0<br>-63 | 0<br>-97 | 0<br>-155 | 0<br>-250 | 0<br>-400 | +20<br>-20 |

**NAPOMENA:** U sistemu zajedničke unutrašnje mere preporučuju se sledeća naleganja:

Figure 1 consists of three grid diagrams showing the distribution of priority levels for different types of vegetation. The top grid shows 'Naleganja sa zazorom' (Vegetation with cover) with priority levels 1 (black), 2 (hatched), and 3 (plus). The middle grid shows 'Naleganja sa zazorom' (Vegetation with cover) with priority levels 1 (black), 2 (hatched), and 3 (plus). The bottom grid shows 'Naleganja sa prekopom' (Vegetation with excavation) with priority levels 1 (black), 2 (hatched), and 3 (plus).

**Tabela 3.2:** Prioritetna tolerancijska polja za unutrašnje mere (nastavak)

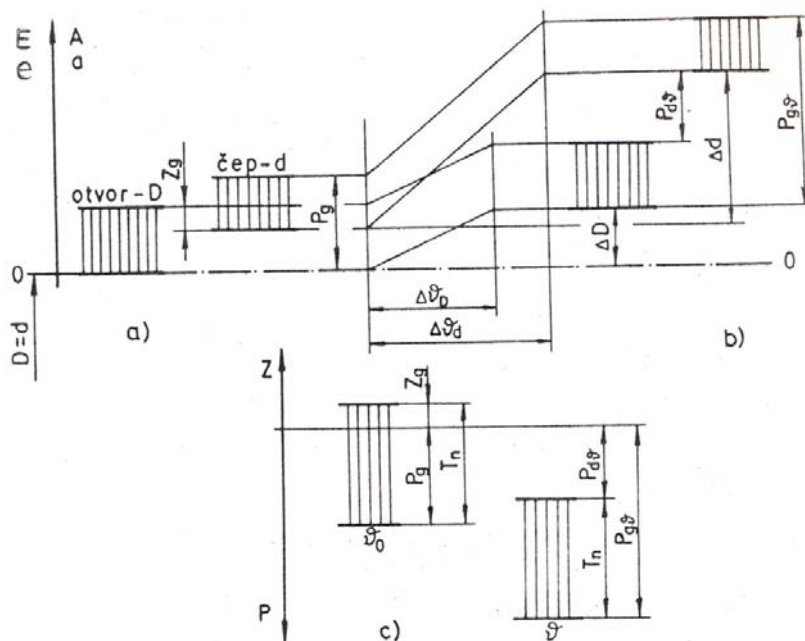
| Naz. mera<br>mm<br>iznad...do | k6        | n6         | p6         | r6           | r7           | s6           | s7           | s8           | t7           | t8           | u8           | x8           | c11          |
|-------------------------------|-----------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 ...3                        | +6<br>0   | +10<br>+4  | +12<br>+6  | +16<br>+10   | +20<br>+10   | +20<br>+14   | +24<br>+14   | +28<br>+14   |              |              | +32<br>+18   | +34<br>+20   | -60<br>-120  |
| 3... 6                        | +9<br>+1  | +16<br>+8  | +20<br>+12 | +23<br>+15   | +27<br>+15   | +27<br>+19   | +31<br>+19   | +37<br>+19   |              |              | +41<br>+23   | +46<br>+28   | -70<br>-145  |
| 6... 10                       | +10<br>+1 | +19<br>+10 | +24<br>+15 | +28<br>+19   | +34<br>+19   | +32<br>+23   | +38<br>+23   | +45<br>+23   |              |              | +50<br>+28   | +56<br>+34   | -80<br>-170  |
| 10... 14                      | +12       | +23        | +29        | +34          | +41          | +39          | +46          | +55          |              |              | +60          | +67          | -95          |
| 14... 18                      | +1        | +12        | +18        | +23          | +23          | +28          | +28          | +28          |              |              | +33          | +72<br>+45   | -205         |
| 18... 24                      | +15       | +28        | +35        | +41          | +49          | +48          | +56          | +68          |              |              | +74<br>+41   | +87<br>+54   | -110         |
| 24... 30                      | +2        | +15        | +22        | +28          | +28          | +35          | +35          | +35          | +62<br>+41   | +74<br>+41   | +81<br>+48   | +79<br>+64   | -240         |
| 30 ... 40                     | +18       | +33        | +42        | +50          | +59          | +59          | +68          | +82          | +73<br>+48   | +87<br>+48   | +99<br>+60   | +119<br>+80  | -120<br>-280 |
| 40 ... 50                     | +2        | +17        | +26        | +34          | +34          | +43          | +43          | +43          | +79<br>+54   | +93<br>+54   | +109<br>+70  | +136<br>+97  | -130<br>-290 |
| 50 ... 65                     | +21       | +39        | +51        | +60<br>+41   | +71<br>+41   | +72<br>+53   | +83<br>+53   | +99<br>+66   | +96<br>+66   | +112<br>+87  | +133<br>+87  | +168<br>+122 | -140<br>-330 |
| 65 ... 80                     | +2        | +20        | +32        | +62<br>+43   | +73<br>+43   | +78<br>+59   | +89<br>+59   | +105<br>+75  | +105<br>+75  | +121<br>+102 | +148<br>+146 | +192<br>+146 | -150<br>-340 |
| 80... 100                     | +25       | +45        | +59        | +73<br>+51   | +86<br>+51   | +93<br>+71   | +106<br>+71  | +125<br>+91  | +126<br>+91  | +145<br>+124 | +178<br>+178 | +232<br>+390 | -170<br>-390 |
| 100... 120                    | +3        | +23        | +37        | +76<br>+54   | +89<br>+54   | +101<br>+79  | +114<br>+79  | +133<br>+104 | +139<br>+104 | +158<br>+144 | +198<br>+210 | +246<br>+400 | -180<br>-400 |
| 120... 140                    |           |            |            | +88<br>+63   | +103<br>+63  | +117<br>+92  | +132<br>+92  | +155<br>+122 | +162<br>+122 | +185<br>+170 | +233<br>+248 | +311<br>+450 | -200<br>-450 |
| 140... 160                    | +28<br>+3 | +52<br>+27 | +68<br>+43 | +90<br>+65   | +105<br>+65  | +125<br>+100 | +140<br>+100 | +163<br>+100 | +174<br>+134 | +197<br>+190 | +253<br>+280 | +343<br>+460 | -210<br>-460 |
| 160... 180                    |           |            |            | +93<br>+68   | +108<br>+68  | +133<br>+108 | +148<br>+108 | +171<br>+146 | +186<br>+146 | +209<br>+210 | +273<br>+310 | +373<br>+480 | -230<br>-480 |
| 180... 200                    |           |            |            | +105<br>+77  | +123<br>+77  | +151<br>+122 | +168<br>+122 | +194<br>+166 | +212<br>+166 | +238<br>+166 | +380<br>+236 | +422<br>+350 | -240<br>-530 |
| 200... 225                    | +33<br>+4 | +60<br>+31 | +79<br>+50 | +109<br>+80  | +126<br>+80  | +159<br>+130 | +176<br>+130 | +202<br>+180 | +226<br>+180 | +252<br>+258 | +330<br>+385 | +457<br>+550 | -260<br>-550 |
| 225... 250                    |           |            |            | +113<br>+84  | +130<br>+84  | +169<br>+140 | +186<br>+140 | +212<br>+196 | +242<br>+196 | +268<br>+196 | +356<br>+284 | +497<br>+452 | -280<br>-570 |
| 250... 280                    | +36       | +66        | +88        | +126<br>+94  | +146<br>+94  | +190<br>+158 | +210<br>+158 | +239<br>+218 | +270<br>+218 | +299<br>+218 | +396<br>+315 | +556<br>+475 | -300<br>-620 |
| 280... 315                    | +4        | +34        | +56        | +130<br>+98  | +150<br>+98  | +202<br>+170 | +222<br>+170 | +251<br>+240 | +292<br>+240 | +321<br>+240 | +431<br>+350 | +606<br>+525 | -330<br>-650 |
| 315... 355                    | +40       | +73        | +98        | +144<br>+108 | +165<br>+108 | +226<br>+190 | +247<br>+190 | +279<br>+268 | +325<br>+268 | +357<br>+268 | +479<br>+390 | +679<br>+590 | -360<br>-720 |
| 355... 400                    | +4        | +37        | +62        | +150<br>+114 | +171<br>+114 | +244<br>+208 | +265<br>+208 | +297<br>+294 | +351<br>+294 | +383<br>+294 | +524<br>+435 | +749<br>+660 | -400<br>-760 |
| 400... 450                    | +45       | +80        | +108       | +166<br>+126 | +189<br>+126 | +272<br>+232 | +298<br>+232 | +336<br>+330 | +393<br>+330 | +427<br>+490 | +587<br>+740 | +837<br>+840 | -440<br>-840 |
| 450... 500                    | +5        | +40        | +68        | +172<br>+132 | +195<br>+132 | +292<br>+252 | +315<br>+252 | +349<br>+360 | +423<br>+360 | +457<br>+540 | +637<br>+820 | +917<br>+880 | -480<br>-880 |

### c) Uticaj promene temperature na promenu naleganja

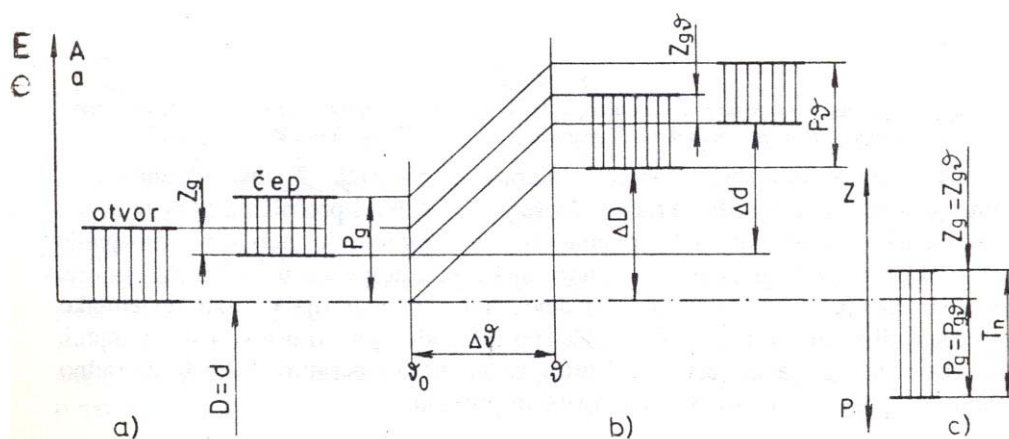
U toku radnog veka mašinski deo je izložen uticajima sredine u kojoj se nalazi. S toga stvarne mere otvora i čepa se tokom eksploatacije mogu menjati. Jedan od uzročnika promene dimenzija mašinskog dela može biti temperatura. Ova promena je srazmerna koeficijentu toplotnog širenja  $\alpha$ , promeni temperature  $\Delta\vartheta$  i veličini prečnika  $D$ , odnosno  $d$ , tj.  $\Delta d = \alpha \cdot d \cdot \Delta\vartheta$ . Promena prečnika  $\Delta D$  i  $\Delta d$  može biti takva da se promeni vrsta naleganja tj. zazor postane preklap ili obrnuto.

Pod uticajem temperature menja se stvarna mera. Pošto je ona vezana za izradu mašinskog dela i nije unapred poznata, za analizu uticaja promene temperature koristi će se nazivna mera. Promene nazivne mere čepa  $\Delta d$  i otvora  $\Delta D$ , mogu biti različite ili jednake.

Naleganje se menja ako nisu iste promene temperature  $\Delta\vartheta_d \neq \Delta\vartheta_D$  ili ako koeficijent linearnog širenja mašinskog dela sa čepom  $\alpha_d$  različit od onog sa otvorom  $\alpha_D$ . Dovoljno je da bude ispunjen samo jedan od navedenih uslova. Promene položaja tolerancijskih polja i promene položaja tolerancije naleganja  $\alpha_d > \alpha_D$  i za  $\Delta\vartheta_d > \Delta\vartheta_D$  prikazane su na slici 3.9. Vidimo da je samo promenjen položaj tolerancijskih polja, a ne i njihova veličina. Tolerancijsko polje čepa više pomerenjeno jer je prečnik  $d$  više povećan od prečnika otvora  $D$ . Ovim zagrevanjem je neizvesno naleganje prešlo u čvrsto. Suprotnim efektom hladjenja bi se tolerancijska polja pomerala u suprotnom smeru. Ako se delovi jednako zagrevaju ili hlade, što je čest slučaj, ili ako su od istih materijala (isti koeficijent širenja  $\alpha$ ) do ovih promena ne dolazi. Pri tom nema promene vrste naleganja već su tolerancijska polja samo translatorno pomerenjena u istu stranu (slika 3.10).



**Slika 3.9:** Uticaj promene temperature na promenu naleganja: a) neizvesno naleganje na temperaturi  $\theta_0$ , b) vrsto naleganje na temperaturi  $\theta$ , c) dijagrami naleganja za ova dva naleganja



**Slika 3.10:** Održavanje istog naleganja pri promeni temperature spojenih delova: a) naleganje na normalnoj temperaturi  $\theta_0$ , b) naleganje na povišenoj temperaturi  $\theta$ , c) dijagram tolerancije naleganja na temperaturama  $\theta_0$  i  $\theta$

#### d) Tolerancije sklopa dužinskih mera – složene tolerancije

Više mašinskih elemenata spojenih u jednu celinu predstavljaju mašinski sklop. Dužinske mere u sklopu se međusobno nadovezuju, sabiraju ili oduzimaju. Krajnja mera sklopa dobija se preko zatvorenog kruga mera, poznatog kao merni lanac. On se sastoji od uvećavajućih članova koji se dodaju i od umanjujućih članova koji se oduzimaju. Promena



bilo koje dužinske mere u mernom lancu odražava na promenu odstupanja jedne, ili više drugih dužinskih mera. Tolerancija završnog člana mernog lanca predstavlja zbir tolerancija članova mernog lanca.

*Tolerancija zbira* dužinskih mera jednaka je zbiru tolerancija svih mera u nizu pojedinačno.

Dakle, zbirna mera  $I$  (završnog člana mernog lanca) je  $I = I_1 + I_2 + I_3$  je sa tolerancijom  $t = t_1 + t_2 + t_3$

*Tolerancija razlike* dužinskih mera je takođe jednaka zbiru tolerancija pojedinačnih mera.

Završni član mernog lanca je mera npr.  $L_1 = L - I$  sa tolerancijom  $T_1 = T + t$ .

#### e) *Tolerancije slobodnih mera- prećutne tolerancije*

Slobodne mere su one za koje se ne propisuje tolerancija. To su mere mašinskih delova koji nisu u sprezi sa drugim delovima. S toga nema potrebe da se na crtežu upisuju dozvoljena odstupanja ovih mera. Iako njihova tačnost nije značajna za ispravan rad sklopa, ona nije proizvoljna. Proizvodjač ima obavezu da ih se pridržava, ali se ne unose se na kotama crteža, pa se nazivaju još i prećutne tolerancije. Dozvoljena odstupanja slobodnih mera u zavisnosti od načina izrade: rezanje, kovanje, livenje i sl. propisuju se standardima. Daju se u vidu tablica za svaki način izrade (primer za rezanje tabela 3.3).

**Tabela 3.3:** Odstupanja slobodnih mera prema ISO 2768-1

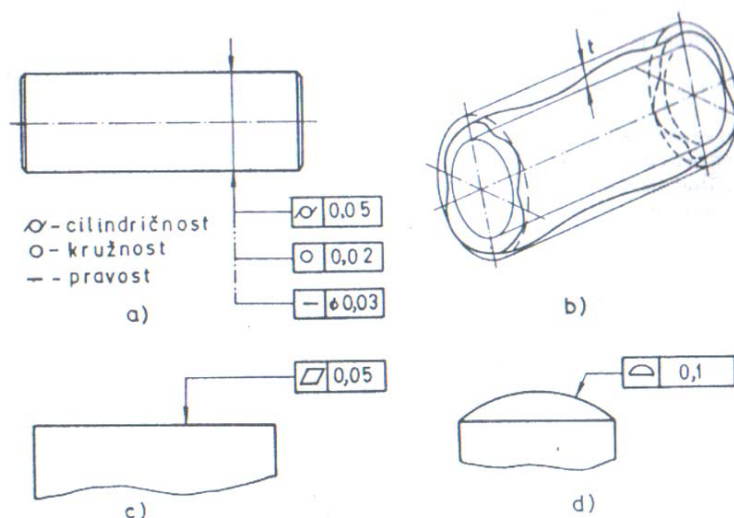
| Klase tolerancija |            | Dozvoljena odstupanja za nazivne mere |                 |                  |                    |                        |                         |                          |                          |
|-------------------|------------|---------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| oznaka            | opis       | 0,5 do 3                              | preko 3<br>do 6 | preko 6<br>do 30 | preko 30<br>do 120 | preko<br>120 do<br>400 | preko<br>400 do<br>1000 | preko<br>1000 do<br>2000 | preko<br>2000 do<br>4000 |
| f                 | fina       | ±0,05                                 | ±0,05           | ±0,1             | ±0,15              | ±0,2                   | ±0,3                    | ±0,5                     | -                        |
| m                 | srednja    | ±0,1                                  | ±0,1            | ±0,2             | ±0,3               | ±0,5                   | ±0,8                    | ±1,2                     | ±2                       |
| c                 | gruba      | ±0,2                                  | ±0,3            | ±0,5             | ±0,8               | ±1,2                   | ±2                      | ±3                       | ±4                       |
| v                 | vrlo gruba | -                                     | ±0,5            | ±1               | ±1,5               | ±2,5                   | ±4                      | ±6                       | ±8                       |

### 3.2.2 TOLERANCIJE OBLIKA, POLOŽAJA I OSA POVRŠI MAŠINSKIH DELOVA

Kod izradjenih mašinskih delova usled nesavršenosti izrade u većoj ili manjoj meri prisutna su odstupanja od idealnog geometrijskog oblika. Takođe, ivice i površi koje ograničavaju ove mašinske delove nemaju idealne međusobne položaje koji su propisani zakonima geometrije i koji se od njih zahtevaju radi funkcionalnosti. S toga treba pored tolerancija dužinskih mera definisati odstupanja oblika i položaja površi mašinskih delova i njihovih osa. Medjunarodnim standardom ISO (ISO 1101, ISO 2692, ISO 5458, ISO 5459, ISO 7083) propisana su ova odstupanja.

Kod ***tolerancija oblika*** mašinskih delova koristi se analogija sa tolerancijama dužinskih mera. Područje dozvoljene varijacije dužinske mere bilo je tolerancijsko polje, a ovde je to tolerancijski prostor, kao područje dopuštenog odstupanja oblika. Granice tolerancijskog prostora su zamišljene površi ili konture idealno tačnog geometrijskog oblika izmedju kojih treba da se nalazi stvarna (izradjena) kontura. Tačnost oblika je veća što je propisan tolerancijski prostor širine  $t$  manji. Oznaka tolerancije oblika sastoji se od dvodelnog pravougaonika, u koji se unosi vrsta odstupanja i upisuje dozvoljena vrednost tog odstupanja. Pravougaonik se spaja sa kotnom linijom kojom je propisan prečnik cilindra ili se pokaznom linijom (strelicom) pokazuje na površ za koju se tolerancija propisuje (sl. 3.11a). U prvom

delu pravougaonika se unosi oznaka odstupanja (cilindričnost, pravost, ravnost i dr.), a u drugom veličina dozvoljenog odstupanja. Ovim su obuhvaćene cilindrične površi i površi proizvoljnog oblika. Odstupanja cilindričnih površi su definisana u dve upravne ravni: po konturi kružnice i u pravcu ose cilindra. Odstupanje konture od kružnice može biti u vidu poligonarnosti ili ovalnosti kruga. U pravcu ose cilindar može biti koničan, izdubljen, ispupčen ili iskrivljen. Kontura izradjenog cilindra može biti ovalna, poligonarna, ispupčena, konusna, itd., ali mora ostati unutar definisanog tolerancijskog prostora (slika 3.11b). Za propisivanje odstupanja oblika cilindrične površi osim tolerancije za cilindričnost može se koristiti tolerancija za kružnost i za pravost. Kružnost podrazumeva da kontura kružnice u svakom preseku cilindra, upravnom na njegovu osu, ostane izmedju dve zamišljene kružnice čije je radijalno rastojanje propisano u oznaci (na primer 0,02mm, slika 3.11a). Po istoj analogiji kao i cilindričnost i kružnost, propisuju se pravost, ravnost i dr. Pravost definiše odstupanje pravca ose ili ivice od idealne prave. Osa ili ivica može biti iskošena ili blago talasasta ali mora biti unutar zamišljenog cilindra propisanog prečnika ( $\varnothing 0,03\text{mm}$  u primeru na slici 3.11a). Ravnost znači da ravna površ dobijena izradom može biti blago zakrivljena ili talasasta, ali mora biti izmedju dve zamišljene ravni na propisanom rastojanju (npr. 0,05mm, slika 3.11c). Oblik proizvoljne površi mora biti izmedju dve zamišljene površi istog oblika (tačnog) na propisanom rastojanju (slika 3.11d).

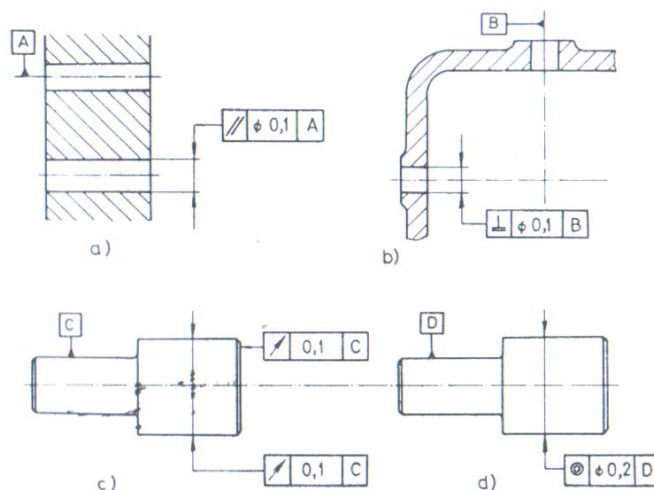


**Slika 3.11:** Tolerancije oblika površi mašinskih delova: a) označavanje tolerancija cilindričnosti, kružnosti i pravosti, b) definisanje tolerancijskog prostora kod cilindričnosti, c) označavanje tolerancije za ravnost, d) tolerancija proizvoljnog oblika površi

**Tolerancije položaja** osa i površi mašinskih delova dopunjuju tolerancije oblika s tim što se definišu u odnosu na neku referentnu osu ili površ (sl. 3.12). Ova osa ili površ označava se posebnim znakom i slovom. Najpre se propisuje tolerancijski prostor a onda definiše njegov položaj u odnosu na pomenute referentne elemente. Za oznaku tolerancije položaja se koristi pravougaonik koji se deli na tri dela. U prvi deo se upisuje oznaka vrste tolerancije položaja, u drugi veličina koja karakteriše tolerancijski prostor, a u treći deo unosi se oznaka referentnog elementa u odnosu na koju se odstupanje položaja definiše. Paralelnost i upravnost ose definiše se tako što osa mora biti unutar zamišljenog cilindra propisanog prečnika (na primer  $\varnothing 0,1\text{mm}$ , slika 3.12a i b) koji je paralelan odnosno upravan na referentnu osu. Paralelnost i upravnost površi propisuje se posredstvom zamišljenih ravni izmedju kojih treba da leži tolerisana površ, a koje su paralelne, odnosno upravne na referentnu površinu ili osu.

Tolerancije bacanja (radijalno i aksijalno) površi su dopuštena odstupanja pri rotaciji u odnosu na referentnu površ. Kad mašinski deo rotira ako dve cilindrične površi na njemu nisu

idealno saosne, jedna će imati radijalno bacanje u odnosu na drugu referentnu (slika 3.12c). Ako površ koja se označava tolerancijom odstupa od idealne upravnosti u odnosu na referentnu cilindričnu površ, pri rotaciji nastaje aksijalno bacanje (slika 3.12c). Ovo je od posebnog značaja kod elemenata za obrtno kretanje: vratila odnosno osovina, ležaja i spojnice. Centričnost se iskazuje veličinom zamišljenog cilindra koji je saosan sa referentnom površi (osom), a u kojem treba da leži osa za koju se tolerancija propisuje (slika 3.12d).



**Slika 3.12:** Tolerancije položaja osa i površi mašinskih delova: a) paralelnost, b) upravnost, c) radijalno i aksijalno bacanje, d) centričnost

U tabeli 3.4 dat je pregled svih tolerancija oblika i položaja sa objašnjenjima.

### 3.2.3 TOLERANCIJE HRAPAVOSTI POVRŠI MAŠINSKIH DELOVA

Površ mašinskih delova nakon izrade nisu idealno glatke. One su u manjoj ili većoj meri hrapave. Ova hrapavost potiče usled: nesavršenosti alata i obradnog sistema, neadvatnog izbora tehnologije i parametara obrade, greške opslužioca mašine i sl. Kad bi se hrapava površ mašinskog dela preseklala upravnom ravni dobio bi se reljef neravnina - mikropofil (sl. 3.13a). Parametri mikropofila obradjene površi su:  $R_{\max}$  - najveća visina neravnina,  $R_z$  - srednja visina neravnina i  $R_a$  - srednje aritmetičko odstupanje mikropofila obradjene površi koje se određuje preko integrala:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

Primenjen je princip osrednjavanja kontinualne funkcije  $y$  na domenu  $0-l$ , čije vrednosti predstavljaju trenutnu visinu neravnine, kao što je prikazano na slici 3.13a. Površina pravougaonika ( $R_a \times l$ ) jednaka je površini ispod krive  $y$  tj. njenom integralu na pomenutom domenu.

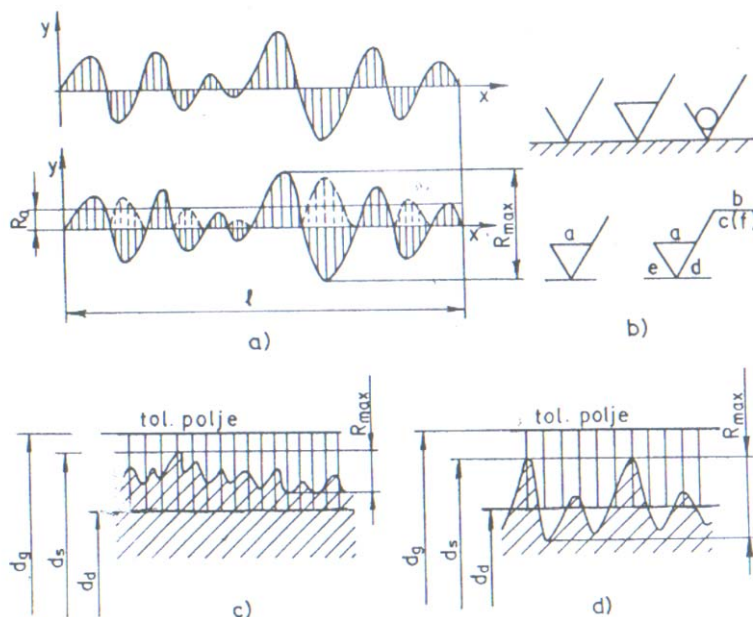
Tolerancija hrapavosti površi se definiše u odnosu na srednje aritmetičko odstupanje mikropofila obradjene površi  $R_a$ . Označava se kukicom koja je vrhom od  $60^\circ$  usmerena ka hrapavoj površi, i sa njom zaklapa isti taj ugao od  $60^\circ$ . Kad način obrade nije određen, ostavlja se otvorena kukica, zatvorena se odnosi na obradu skidanjem strugotine, a kukicom sa krugom zabranjuje se skidanje strugotine sa te površine. Na slici 3.13b prikazane su ove kukice i naznačena su mesta gde se unose veličine dozvoljenih odstupanja. Na mestu koje je označeno slovom (a) unosi se veličina srednjeg aritmetičkog odstupanja  $R_a$ .

Tabela 3.4: Tolerancija oblika i položaja sa objašnjenjima (Savić i dr., 1987)

| Vrsta tolerancije i simboli | Tolerancijska zona | Primer primene i objašnjenje                                                                                                                                                      |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pravost<br>—                |                    | <br>Osa cilindričnog dela svornjaka mora ležati unutar cilindra prečnika $t=0.03$ mm.                                                                                             |
| Ravnost<br>                 |                    | <br>Tolerisana površina mora ležati između dve paralelne ravni rastojanja $t=0.05$ mm.                                                                                            |
| Kružnost<br>                |                    | <br>Obimna linija svakog poprečnog preseka mora ležati u kružnom prstenu širine $t=0.02$ mm.                                                                                      |
| Cilindričnost<br>           |                    | <br>Tolerisana površina mora ležati između dva koaksijalna cilindra radijalnog rastojanja $t=0.05$ mm.                                                                            |
| Oblik linije<br>            |                    | <br>Toler. profil mora ležati između dve obvojnje površ., čije je rastojanje ograničeno krugovima $t=0.08$ mm. Središta ovih krugova leže na geometrijski idealnoj liniji.        |
| Oblik površine<br>          |                    | <br>Toler. površ. mora ležati između dve obvojnje površ., čije je rastojanje ograničeno kuglama prečnika $t=0.03$ mm. Središta ovih kugli leže na geometrijski idealnoj površini. |
| Paralelnost<br>//           |                    | <br>Tolerisana osa mora ležati unutar cilindra prečnika $t=0.01$ mm koji je paralelan sa referentnom osom.                                                                        |
| Upravnost<br>               |                    | <br>Tolerisana površina mora ležati između dve ravni rastojanja $t=0.01$ mm paralelne sa referentnom površinom.                                                                   |
| Nagib (ugao nagiba)<br>     |                    | <br>Tolerisana osa mora ležati između dve međusobno paralelne ravni rastojanja $t=0.08$ mm, upravne na referentnu površinu i pravac strelice.                                     |
| Lokacija<br>                |                    | <br>Osa rupe mora ležati između dve međusobno paralelne ravni rastojanja $t=0.08$ mm, nagnute pod uglom $60^\circ$ u odnosu na referentnu površinu.                               |
| Simetričnost<br>            |                    | <br>Osa rupe mora ležati unutar cilindra prečnika $t=0.05$ mm čija se osa nalazi na geometrijski idealnom mestu (sa uokvirenim vrednostima).                                      |
| Koaksijalnost<br>           |                    | <br>Središnja ravan šleba mora ležati između dve paralelne ravni čije je rastojanje $t=0.08$ mm i koje leže simetrično u odnosu na središnju ravan referentnog elementa.          |
| Kružnost obrtanja<br>       |                    | <br>Osa tolerisanog dela osovine mora ležati unutar cilindra prečnika $t=0.03$ mm čija osa se poklapa sa osom referentnog elementa.                                               |
|                             |                    | <br>Pri obrtanju oko referentne ose D, odstupanja od ravnosti obrtanja, u svakom mernom cilindru, ne smeju prelaziti 0.1 mm.                                                      |
|                             |                    | <br>Pri obrtanju oko referentne ose AB odstupanja od kružnosti obrtanja u svakoj upravnoj mernoj ravni ne smeju prelaziti 0.1 mm.                                                 |

Kako se  $R_a$  izražava u mikrometrima to nije pogodno za ispisivanje na crtežima. Zato se umesto  $R_a$  iznad kukice upisuju klase hrapavosti: N1, N2, N3,... N12. Svako od ovih oznaka odgovara određena vrednost  $R_a$  propisana standardom. Pored kukice mogu se uneti i druge oznake u vezi sa obradom površine. Na mestu označenom slovom (b) može se uneti način obrade, na mestu (c) dužina obrade ili na mestu označenom se (f) veličina hrapavosti  $R_{max}$  ili  $R_z$ . Na mestu (d) odgovarajućim oznakama koje su takodje propisane može se naznačiti pravac neravnina (pravac rezanja). Na mestu (e) može biti upisan i dodatak za obradu. Ovo su mogućnosti koje standard dopušta, a koje ne moraju biti korišćene. Obavezno je samo propisivanje klase hrapavosti na mestu (a).





**Slika 3.13:** Tolerancija hrapavosti površi: a) parametri mikropovršine obradjene površine, b) označavanje dopuštene hrapavosti, c) povoljan odnos hrapavosti i tolerancijskog polja, d) nepovoljan odnos hrapavosti i tolerancijskog polja.

Između veličine hrapavosti i veličine tolerancijskog polja za dužinsku meru i treba da postoji uskladenost. Na slici 3.13c prikazan je povoljan odnos visine neravnina i tolerancijskog polja, dok na slici 3.13d nepovoljan jer je su neravnine veće od tolerancijskog polja ( $R_{max} > T$ ). Da bi se ovo izbeglo, standardom se ograničava hrapavost za određenu veličinu tolerancijskog polja. Takodje, klase hrapavosti su povezane i sa postupcima dobijanja mašinskih delova (tabela 3.5). Manji broj klase hrapavosti označava finiju, a veći grublju obradu.

### 3.3 OSNOVE PRORAČUNA MAŠINSKIH ELEMENATA

Cilj izučavanja mašinskih elemenata je da se odrede dimenzije delova i izvrši izbor materijala prema standardima za odgovarajuće radne uslove. Te radne uslove je jako teško tačno predvideti unapred jer u toku radnog veka mogu nastupiti dodatna: mehanička, toplotna, zvučna i dr. opterećenja. Neki uređaji rade pri približno konstatnim opterećenjima i vrlo malim vibracijama (pumpe, ventilatori i sl.), druga sa promenljivim opterećenjima u vremenskim intervalima (alatne mašine, prese, transportni uređaji, motorna vozila i sl.). Zato je od presudnog značaja da se tačno odrede intenziteti, pravci i smerovi sila i momenata, izvori toplote, buke i vibracije; sagleda njihova promenljivost u vremenu i sračunaju radni naponi i deformacije. Osim ovih, moguć je i čitav međjutim proračun prema potrebnom stepenu sigurnosti je najšire zastupljen i najjednostavniji je za ovu primenu.

Sam proračun se zasniva na poredjenju ovog radnog napona sa kritičnim koji zavisi od: vrste naprezanja, izbora materijala, dimenzija mašinskog dela i dr. Proračun prema potrebnom stepenu sigurnosti je najšire zastupljen u praksi i najjednostavniji je za primenu ali postoji i čitav niz drugih proračuna i analiza. U ovom kursu biće objašnjen proračun prema potrebnom stepenu sigurnosti, pa se zato u daljem tekstu daje analiza radnih opterećenja i napona koji mogu biti prisutni u mašinskom elementu.



**Tabela 3.5:** Klase hrapavosti u odnosu na postupke dobijanja mašinskih delova (Ognjanović, 2008)

| Postupci formiranja površina  |                             | Klasa hrapavosti                         |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|-------|
|                               |                             | N1                                       | N2    | N3    | N4   | N5  | N6  | N7  | N8  | N9  | N10 | N11 | N12  |    |    |       |
|                               |                             | Granične vrednosti $R_a$ u $\mu\text{m}$ |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
| Grupa                         | Naziv                       | 0,006                                    | 0,012 | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | 25 | 50 | Prim. |
| Livenje                       | U pesku                     |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    | *     |
|                               | U školjki                   |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    | *     |
|                               | U kokilama                  |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Pod pritiskom               |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Precizno                    |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
| Kovanje (presovanje)          | Kovanje u kalupu            |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Ravno valjanje              |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Duboko izvlačenje           |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Istiskivanje, kompresija    |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Utiskivanje                 |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
| Skidanje strugotine (rezanje) | Valjanje profila            |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Odsecanje                   |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Podužno struganje           |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Ravno struganje             |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Struganje usecanjem         |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Rendisanje                  |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Dubljenje                   |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Grebanje                    |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Bušenje                     |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Struganje rupe              |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Upuštanje rupe              |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Razvrtanje rupe             |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Glodanje valjk. glodalom    |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Čeono glodanje              |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Provlačenje                 |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Turpijanje                  |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Okruglo podužno brušenje    |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Okruglo ravno brušenje      |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Okruglo unutrašnje brušenje |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Ravno obimno brušenje       |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Ravno čeono brušenje        |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Polimo brušenje             |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Glačanje                    |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Dugohodo honovanje          |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Kratkohodo honovanje        |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Okruglo lepovanje           |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Ravno lepovanje             |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Oscilatorno lepovanje       |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Polimo lepovanje            |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Obrada mlazom čestica       |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
|                               | Obrada u bubnju             |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |
| Rezanje plamenom              |                             |                                          |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |       |

**\*)** Pri ovim postupcima livenja, za odlivke mase do 250 kg, mora se računati sa vrednošću  $R_a$  do 125  $\mu\text{m}$

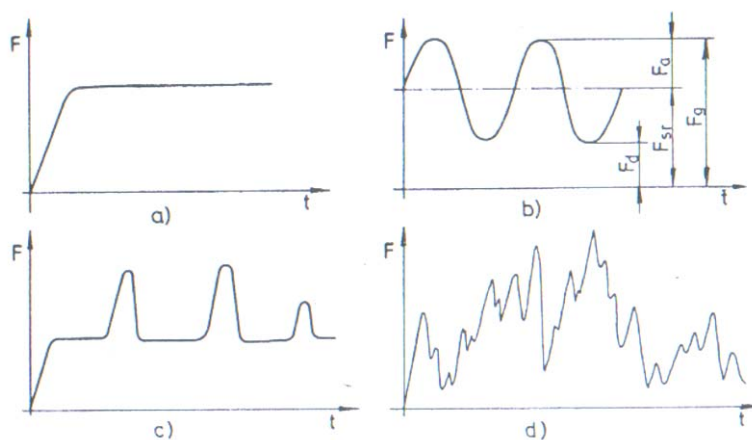
\*) Pri ovim postupcima livenja, za odlivke mase do 250 kg, mora se računati sa vrednošću  $R_a$  do 125  $\mu\text{m}$

### 3.3.1 RADNA OPTEREĆENJA MAŠINSKIH ELEMENATA

Sama radna opterećenja su posledica otpora koje mašina savladava vršeći koristan rad. Ovi otpori su na radnim delovima mašina, na primer: otpor rezanju drveta, otpor pritiskivača prese kod obrade plastičnim deformisanjem, otpor fluida obrtanju rotora pumpe ili ventilatora, otpor kretanja vozila, otpor kopanju rude ili tla i sl. Opterećenja su uglavnom mehaničke prirode pa se izražavaju sistemom sila i spregova koje napadaju mašinski deo. Sa radnih delova mašine ova opterećenja se prenose do oslonaca ili do pogonskog dela mašine.

Analizom ravnoteže svakog od delova u strukturi navedeni radni otpori se transformišu u sisteme sila i spregova za svaki deo pojedinačno.

Pored ovih radnih opterećenja, mašinski delovi su izloženi: inercijalnim silama, otporu trenja, dejstvu sile zemljine teže, toplotnom i opterećenju usled zračenja. Usled međusobnog dejstva mašinskih elemenata u sklopu, javljaju se unutrašnje sile i spregovi. Sva opterećenja koja su posledica radnih otpora, ili unutrašnjih otpora i inercije čine ukupno opterećenje mašinskog dela. Ova opterećenja mogu biti konstantna u toku vremena, i tada se nazivaju statička ili da se menjaju u toku vremena (promenljiva). U zavisnosti od načina promene opterećenja u toku vremena promenljiva mogu biti: harmonijska, udarna ili slučajna (sl 3.14). U realnim radnim uslovima najčešće su slučajne promene opterećenja, međutim radi lakše analize i primene matematičkog aparata, razmatranja će se svoditi na statička ili harmonijski promenljiva opterećenja. Ova poslednja se mogu opisati trigonometrijskim funkcijama sa određenom amplitudom i periodičnošću ponavljanja



**Slika 3.14:** Promene opterećenja: a) statičko, b) harmonijski promenljivo, c) udarno, d) slučajno promenljivo

### 3.3.2 RADNI NAPONI U MAŠINSKIM DELOVIMA

Spoljašnja opterećenja izazivaju naprezanja mašinskih delova. Za naprezanje možemo reći da je stanje u mašinskom delu izazvano spoljnjim opterećenjem. Razlikujemo prosta i složena naprezanja koja su kombinacija dva ili više prostih naprezanja. Najčešća prosta naprezanja koja su izučavana u delu predmeta Tehnička mehanike koji se naziva Otpornost materijala bila su: aksijalno naprezanje (zatezanje ili pritisak), savijanje, uvijanje i smicanje; i ona neće biti naknadno objašnjena jer se smatra da je student sa njima upoznat.

Napon je stanje u mašinskom delu tj. unutrašnji otpor koji materijal pruža naprezanju sveden na jedinicu površine poprečnog preseka. Svakom naprezanju odgovara određena raspodela napona po površini poprečnog preseka. Tako je pri zatezanju odnosno pritisku napon jednak u svim delovima preseka tj. napon je ravnomerno raspoređen po površini poprečnog preseka. Određuje se kao odnos sile zatezanja (pritiska)  $F$  i površine poprečnog

preseka  $A$  tj.  $\sigma = \frac{F}{A}$  (slika 3.16a). Na istoj slici vidimo da je kod čistog savijanja štapa

(nosača kružnog poprečnog preseka) napon je vrlo neravnomerno raspoređen. Sa jedne strane štapa je zatezanje, sa druge pritisak, a u neutralnoj ravni naponi su jednaki nuli. Površinski

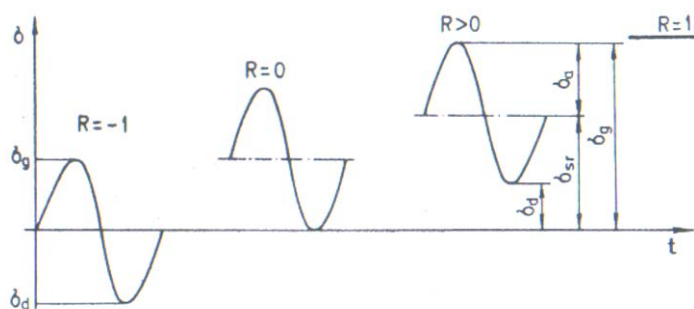
slojevi su izloženi najvećim naponima ( $\sigma = \frac{M}{W}$ ), a veličina napona linearno je proporcionalna rastojanju sloja materijala od neutralne ravni. Naponi su isti u svakom od slojeva (ravni) na istom rastojanju od neutralne ravni. Kod naprezanja na uvijanje štapa naponi su takodje linearno zavisni od udaljenja, u ovom slučaju, od neutralne ose. Najveći su u površinskom sloju ( $\tau = \frac{T}{W}$ ), a jednaki su nuli u osi uvijanja. Za razliku od savijanja gde su naponi normalni na poprečni presek, napon uvijanja je tangentni tj. njegov pravac leži u ravni preseka i tangira koncentrične kružnice jednakog napona uvijanja. Napon je približno ravnomerno raspoređen kod smicanja, slično zatezanju odnosno pritisku. Medjutim ovaj smičući napon je tangentni i leži u ravni poprečnog preseka  $\tau = \frac{F}{A}$  (slika 3.16a).

Napon se u mašinskim delovima često menja na isti način kao što se menja radno opterećenje. Tada govorimo o saglasnim promenama napona. Medjutim, pri konstantnom spolnjem opterećenju napon može biti intenzivno promenljiv. Tu pojavu nazivamo nesaglasnom promenom napona. Primeri za ovakvu promenu su promena napona savijanja vratila, promena napona u zupcima zupčanika, promena napona u presecima kaiša, itd. Saglasna promena napona prisutna je u elementima za vezu i tamo gde se mašinski delovi ne kreću pri opterećenju.

Bilo da su promene napona saglasne ili nesaglasne one su slične promenama opterećenja koje su date na slici 3.14. Tako razlikujemo: statičke naponi, ciklički promenljive napone, udarne i slučajne kao posledice istih takvih opterećenja. Pravilne cikličke promene napona dosta su česte, ali se koriste i kao aproksimacija stohastičkih promena napona radi lakšeg proračuna.

Kao mera cikličke promene napona koristi se koeficijent asimetrije ciklusa. On predstavlja odnos maksimalne gornje ( $\sigma_g$ ) i donje ( $\sigma_d$ ) vrednosti napona:

$$R = \frac{\sigma_d}{\sigma_g} = -1 \dots +1$$



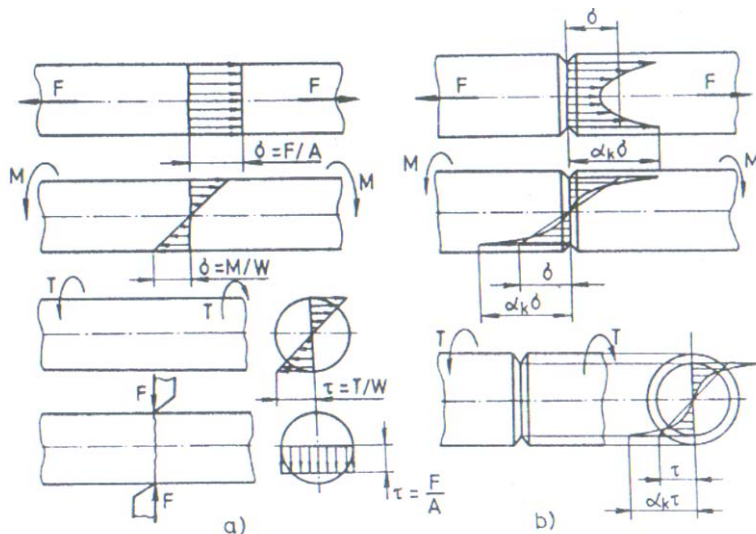
**Slika 3.15:** Vrste cikličkih promena radnog napona

Pri vrednosti koeficijenta asimetrije ciklusa  $R=-1$  (slika 3.15) napon je naizmenično (simetrično) promenljiv, odnosno  $\sigma_d = -\sigma_g$ . Za  $-1 < R < 0$  napon je asimetrično promenljiv ( $\sigma_d < 0$ ), a za  $R = 0$  napon je jednosmerno promenljiv ( $\sigma_d = 0$ ). Ako je  $0 < R < 1$ , napon je jednosmerno promenljiv sa prednaponom ( $\sigma_d > 0$ ). Na kraju za  $R=1$  ( $\sigma_d = \sigma_g$ ) imamo statički napon.

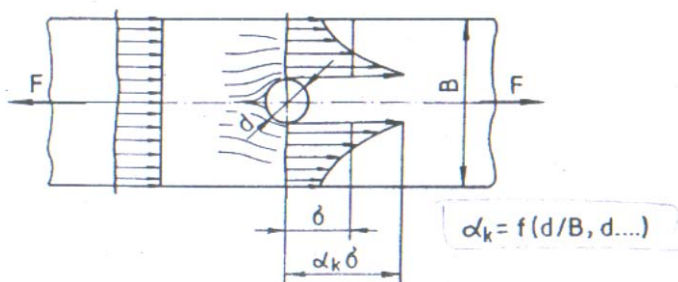
Na mestima u mašinskim delovima gde imamo naglu promenu poprečnog preseka (otvor, ispupčenje, zarez, oborena ivica i sl.) imaćemo nagle promene napona. Ova pojava izrazite neravnomernosti raspodele napona na takvim mestima naziva se *geometrijska koncentracija napona* (sl. 3.16b i 3.17). Pri ovome treba istaći da je površina ispod krive napona po površini preseka (integral) jednaka je za raspodelu sa koncentracijom i bez koncentracije napona. Dakle, napon je samo drugačije raspoređen tj. koncentrisan je u nekim delovima preseka na račun delimičnog ili potpunog rasterećenja drugih.

Može se uspostaviti analogija između raspodele napona i strujanja fluida kroz cev. Ako se u strujno polje fluida koji struji u cevi unese prepreka (sl. 3.17), smanjuje se površina preseka cevi, a povećava brzina strujanja na tom mestu, imajući u vidu jednačinu kontinuiteta. U blizini prepreke strujnice (analogne naponskim linijama) se zgušnjavaju. Dalje od prepreke brzina strujanja se smanjuje, strujnice su redje, pa su analogno i naponi manji.

Napon se izračunava prema vrsti naprezanja koristeći navedene, dobro poznate, izraze iz otpornosti materijala. Za takav napon kažemo da je nominalni i može biti normalni ( $\sigma$ ) ili tangencijalni ( $\tau$ ). Najveći napon koji može nastati u poprečnom preseku usled njegove nagle promene je  $\sigma_{\max} = \alpha_k \sigma$ , odnosno  $\tau_{\max} = \alpha_k \tau$ , gde je  $\alpha_k$  – geometrijski faktor koncentracije napona. Ovaj faktor zavisi isključivo od geometrijskih karakteristika mašinskog dela kao što je odnos dimenzija većeg i manjeg preseka (npr. prečnika otvora i „punog“ materijala), radijus zaobljenja, i sl. Kad je promena preseka veća naponske linije menjaju intenzivnije pravac, što dovodi do veće koncentracije napona. Dakle, poželjne su postepene promene poprečnog preseka mašinskog dela i veći radijus zaobljenja kako bi se intenzivna pojava koncentracije napona izbegla.



**Slika 3.16:** Raspodela napona za prosta naprezanja: a) raspodela nominalnih napona, b) geometrijska koncentracija napona



**Slika 3.17:** Geometrijska koncentracija napona

Vrednosti za geometrijski faktor koncentracije napona ( $\alpha_k$ ) daju se u dijagramima ili tablicama u zavisnosti od: vrste naprezanja, oblika promene preseka i odnosa dimenzija.

### 3.3.3 STEPEN SIGURNOSTI MAŠINSKOG DELA

Već je ranije istaknuto da se proračun sigurnosti mašinskog dela zasniva na poredjenju radnog i kritičnog napona. U svakom poprečnom preseku mašinskog dela i u svakom trenutku treba obezbediti da je radni napon manji od kritičnog. Da su radni i kritični napon veličine koje se mogu pouzdano utvrditi, moglo bi se dopustiti da radni napon bude blizak kritičnom. Međutim kako u praksi to nije slučaj, uvodi se stepen sigurnosti definisan kao odnos kritičnog i radnog napona

$$S = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma}$$

Kao merodavna vrednost kritičnog napona ( $\sigma_{kr}$ ) u proračunu najčešće se koristi srednja vrednost. Ovo usled toga što se ne može pouzdano utvrditi i što između ostalog zavisi i od samih dimenzija mašinskog dela. Znači da realna vrednost kritičnog napona može biti i manja od srednje koja je usvojena proračunom. S druge strane, i intenzitet i način promene radnih napona je teško predvideti zbog česte stohastičke prirode radnih opterećenja. Znači postoji mogućnost da radni napon eventualno bude i veći od izračunatog u proračunu. Dovoljnom se smatra ona vrednost stepena sigurnosti koja obezbeđuje uslov da radni napon bude manji od kritičnog i pri najmanjem mogućem kritičnom naponu i najvećem mogućem radnom naponu. Ovo će biti ispunjeno i kada je stepen sigurnosti mnogo veći od potrebnog. U tom slučaju mašinski deo je predimenzionisan što iz mnogih razloga nije prihvatljivo. Pre svega on će imati veće gabarite i težinu, a samim tim i veću cenu što je nepoželjno sa gledišta racionalnog projektovanja i tehno-ekonomske analize. S toga se često dopušta obrnuto, ide se u rizik da se dopusti i određena verovatnoća da radni napon bude veći od kritičnog tj. da u određenoj meri mašinski deo bude nepouzdan. Ova svesno usvojena nepouzdanosti obezbeđuje da mašinski delovi bude što racionalnije dimenzionisan, a u isto vreme da zadovolje predviđene uslove rada.

U zavisnosti od vrste radnog napona uvode se više kategorija stepena sigurnosti. Pri tome ovi stepeni sigurnosti imaju različite kritične napone.

Kada je broj promena radnog napona u radnom veku mašinskog dela mali odnosno manji od broja promena pri kome može doći do loma pri statičkom opterećenju ( $n_s$ ), onda se za proveru čvrstoće koristi **statički stepen sigurnosti**. Broj promena ( $n_s$ ) ne mora biti tačno utvrdjen (za čelične delove koji trpe naprezanje po celoj zapremini iznosi nekoliko hiljada), već uvek kada je broj promena mali ili amplituda promene radnog napona mala usvoja se da je kritični napon  $\sigma_{kr} = R_e$  naponu na granici tečenja kada materijal počinje da se trajno deformiše.

Statički stepen sigurnosti je dakle:

$$S_s = \frac{R_e}{\sigma}$$

Ovaj stepen sigurnosti obično se usvaja u intervalu 2-3, a mogu se usvojiti i više vrednosti imajući u vidu i rasipanje numeričkih vrednosti za granicu tečenja oko srednje vrednosti i to da je radni napon ipak u određenoj meri promenljiv.



## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Kada je broj promena napona u radnom veku mašinskog dela veći od broja ( $n_s$ ), onda uvodimo **dinamički stepen sigurnosti** koji je definisan odnosom dinamičke izdržljivosti mašinskog dela i gornje granice do koje se menja radni napon:

$$S_D = \frac{\sigma_D}{\sigma_g}$$

ovaj stepen sigurnosti treba da je veći od 1,25. Dinamički stepen sigurnosti treba da bude u intervalu 1,25-2,5. Donja granica intervala utvrđena je zbog rasipanja vrednosti dinamičke izdržljivosti usled različitog uticaja.

Mašinski delovi često ne trpe naprezanje samo od jedne vrste opterećenja, nego od više. Za mašinske delove koji su u istom poprečnom preseku izloženi dejstvu dva ili više napona kažemo da su **složeno napregnuti**. Naponi mogu biti istorodni tj. svi normalni ili svi tangentni ili raznorodni (normalni i tangentni kombinovano). Ako je mašinski deo izložen dejstvu istorodnih napona, npr. normalnom naponu pri zatezanju i savijanju, zavisnost između kritičnih napona za ta dva naprezanja je linearna. Za raznorodne napone, npr. normalni napon pri savijanju i tangentni pri uvijanju, ova veza se izražava jednačinom elipse.

Imajući u vidu pomenute zavisnosti kritičnih napona, ukupni stepen sigurnosti se može se izraziti posredstvom parcijalnih stepena sigurnosti. Tako da kad su u pitanju istorodna naprezanja ukupni stepen sigurnosti biće:

$$S = \frac{S_z \cdot S_s}{S_z + S_s}$$

gde je  $S_z$  – parcijalni stepen sigurnosti u odnosu na zatezanja, a  $S_s$  – parcijalni stepen sigurnosti u odnosu na savijanje. Za raznorodna naprezanja biće:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}}$$

gde je:  $S_\sigma$ - parcijalni stepeni sigurnosti za normalno naponsko stanje odnosno  $S_\tau$  parcijalni stepeni sigurnosti za tangentno naponsko stanje.

Ukupni stepen sigurnosti može se odrediti i primenom hipoteza o slomu materijala. Uvodi se pojam ekvivalentnog radnog napona preko koga se složeno naponsko stanje istorodnih napona svodi na jednonaponsko, npr. normalni napon na zatezanje i savijanje svodi se ekvivalentni napon koji ima karakter zatezanja:

$$\sigma_i = \sigma_z + \frac{\sigma_{kr_z}}{\sigma_{kr_s}} \cdot \sigma_s \text{ odnosno } S = \frac{\sigma_{kr_z}}{\sigma_i},$$

gde su:  $\sigma_{kr_z}$  i  $\sigma_{kr_s}$  - kritični naponi za zatezanje, odnosno savijanje.

Za raznorodno naponsko stanje pomoću ekvivalentnog napona svodi se na napon koji ima karakter normalnog napona:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + \left( \frac{\sigma_{kr}}{\tau_{kr}} \cdot \tau \right)^2} \text{ odnosno } S = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_i}$$

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Ekvivalentni naponi koriste se pri dimenzionisanju mašinskog dela, a na osnovu izabranog stepena sigurnosti. Shodno tome potrebno je uvesti i pojam *dozvoljenog napona* koji predstavlja najveći napon koji mašinski deo može u toku radnog veka da izdrži, sa sigurnošću da ne nastupi razaranje ili neko drugo kritično stanje. Dozvoljeni napon se može izračunati na osnovu usvojenog stepena sigurnosti i kritičnog napona kao:

$$\sigma_{doz} = \frac{\sigma_{kr}}{S}, \text{ pri čemu je } \sigma_i < \sigma_{doz}$$

Dozvoljenom naponu odgovara opterećenje koje mašinski deo može prenositi u radnom veku. Ovo opterećenje se naziva *nosivost mašinskog dela*. To je najveće opterećenje pri kome, pod određenim uslovima, sa sigurnošću da neće nastupiti kritično stanje odnosno razaranje.



## **PREDGOVOR POGLAVLJA 4**

*U uvodnom delu ovog poglavlja dati su: osnovni pojmovi nauke o materijalima, svojstva inženjerskih materijala, podela materijala u mašinstvu i njihov izbor.*

*Studenti se upoznaju sa metalnim materijalima koji se najviše koriste u mašinstvu, i to pre svega železnim materijalima čelicima i livenim gvoždjem. Objasnjeno je označavanje čelika u uvedene osnovne podele prema sastavu (ugljenični i legirani) i nameni (konstruktivni i alatni). Ukazano je i na najčešće korišćena livena gvoždja i njihova svojstva. Razmtrani su i u mašinstvu najčešće korišćeni neželezni materijali i njihove legure.*

*Dat je prikaz najčešće korišćenih termičkih i termohemijskih obrada koje se sprovode u cilju poboljšanja svojstava mašinskih materijala kako čelika tako i livenih gvoždja.*

*U poslednjem delu ovog poglavlja razmatrani su osnovni pojmovi vezani za koroziju metala, kao i savremeni načini za zaštitu od korozije.*

*Na kraju četvrtog poglavlja date su definicije pojmova korišćenih u ovom poglavlju, jer predviđen fond časova nije dozvoljavao da svakom od ovih pojmova posvetim posebnu lekciju.*

## 4. NAUKA O MATERIJALIMA I TEHNOLOGIJA MATERIJALA

Materijali su supstance od kojih su izradjeni predmeti koji nas okružuju.

**Nauka o materijalima** je naučna disciplina koja se prvenstveno bavi izučavanjem odnosa koji postoje između strukture i svojstava materijala, kao i procesima obrade materijala sa ciljem dobijanja boljih svojstava (termička obrada, termohemijska obrada, termomehanička obrada).

**Tehnologija materijala** je inženjerska disciplina koja koristi osnovna i primenjena znanja o materijalima, kako bi se od materijala izradio proizvod.

Široku oblast svojstava materijala čije je poznavanje neophodno za pravilan izbor materijala za projektovanu konstrukciju možemo da svrstamo u četiri grupe:

- **Struktura**
- **Mehanička svojstva**
- **Fizička svojstva**
- **Modifikovana svojstva.**

**Struktura.** Struktura materijala značajno utiče na svojstva i ponašanje materijala. Da li je u pitanju amorfno ili kristalno telo, oblik rešetke i raspored atoma (molekula) u okviru kristalne rešetke – svakako treba poznavati. Ovde struktura materijala neće biti razmatrana posebno jer se smatra da su je studenti izučili iz Hemije i Tehničke fizike.

**Mehanička svojstva.** U ova svojstva spadaju: tvrdoća, žilavost, sposobnost deformisanja, puzanje i sl. Mehanička svojstva zavise od temperature, stepena deformacije, kvaliteta površine i uticaja okoline. Poznavanje mehaničkih svojstava pod navedenim uslovima je važan pokazatelj ponašanja materijala u procesu prerade, kao i u toku eksploatacije. Koriste se različite metode ispitivanja: zatezanjem, pritiskom, savijanjem, uvijanjem, tvrdoće, zamora, puzanja, žilavosti. Definicije pomenutih svojstava date su na kraju poglavlja.

**Fizička svojstva.** Gustina, temperatura topljenja, toplotna provodnost, koeficijent toplotnog širenja, električna i magnetna svojstva i sl., takođe mogu imati značajan uticaj na ponašanje materijala.

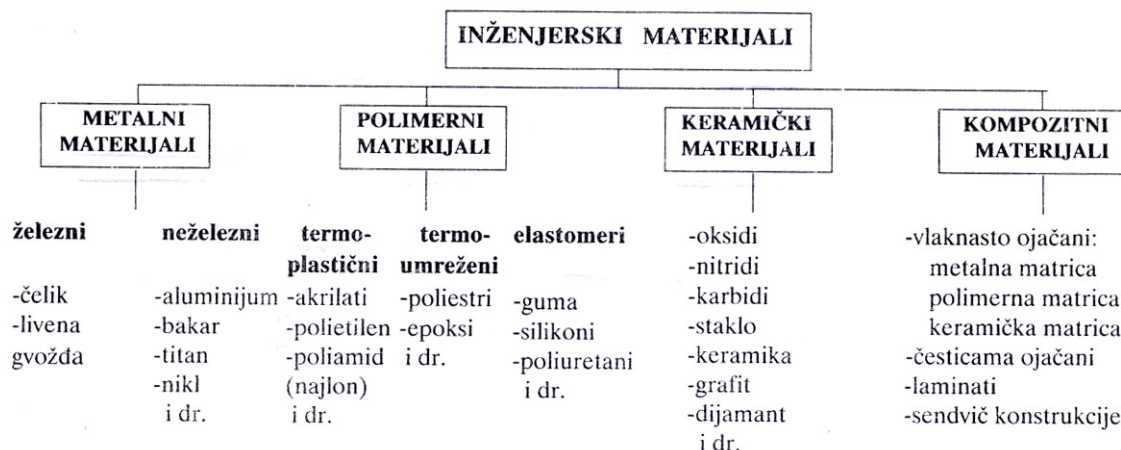
**Modificirana svojstva.** Poznavanje metoda za izmenu svojstava materijala kao što su: termička obrada, termo-hemijska obrada, legiranje; ima poseban značaj jer omogućava povećanja čvrstoće, tvrdoće, čvrstoće, otpornosti na habanje (tribološka svojstva), kao i zaštitu od korozije.

### 4.1 MATERIJALI U MAŠINSTVU

Materijali u mašinstvu mogu da se svrstaju u četiri osnovne grupe (sl. 4.1): **metali, polimeri, keramika i kompoziti.**

**Metalni materijali.** Ovi materijali su izgrađeni od jednog ili više metalnih elemenata, a mogu sadržati i neke nemetalne elemente (C, N, O). Kako metali imaju veliki broj slobodnih elektrona, mnoga svojstva metala su u direktnoj zavisnosti od njih. Metali imaju kristalnu strukturu u kojoj su atomi međusobno raspoređeni u prostoru gradeći kristalne rešetke. Metali poseduju izuzetno dobru električnu i toplotnu provodljivost; imaju sposobnost da zagrevanjem otpuštaju elektrone; ne propuštaju svetlost; polirane površine su sjajne. Imaju

relativno dobru čvrstoću i plastičnost na sobnoj temperaturi, a mnogi zadržavaju dobra svojstva i na povišenim temperaturama. Čisti metali imaju nisku čvrstoću i ne obezbeđuju potrebna mehanička, fizička i tehnološka svojstva, te se oni retko primenjuju. Širu upotrebu u inženjerskoj praksi imaju legure. Legure poseduju uglavom sva svojstva koja su karakteristična za metale.



**Slika 4.1:** Pregled nekih inženjerskih materijala

Metali i legure se obično dele u dve grupe: železni metali i legure, koji sadrže veliki procenat železa, kao čelik i livena gvožđa; i neželezni (obojeni) metali i legure, koji ne sadrže železo ili ga imaju u malom procentu, kao aluminijum, bakar, titan, nikl i dr.

**Polimerni materijali.** Većina polimernih materijala sastoji se od organskih jedinjenja koja sadrže ugljenik, vodonik i druge nemetalne elemente. Struktura polimernih materijala je nekristalna, mada neki od njih mogu da imaju kombinovanu – nekristalnu i kristalnu strukturu. Karakteristike polimernih materijala su : male vrednosti gustine, niska toplotna i električna provodljivost, niske vrednosti čvrstoće i krutosti, visoka postojanost na hemijski uticaj, visok koeficijent termalnog širenja.

**Keramički materijali.** Keramički materijali su neorganska jedinjenja metala i nemetala. Struktura keramičkih materijala može da bude kristalna, i kombinovana kristalno-nekristalna. Za keramičke materijale karakteristično je da su: veoma tvrdi, krti, poseduju visoku čvrstoću na visokim temperaturama, otporni su na hemijske uticaje, hranu i okolinu, otporni su na habanje, imaju veoma nisku električnu i toplotnu provodljivost.

**Kompozitni materijali.** Kompozitni materijali su kombinacija dva ili više materijala u makroskopskoj razmeri. Većina kompozitnih materijala satoji se od vlakana i matrice kao veziva. Kompozitni materijali su tako građeni da koriste najbolja svojstva svake pojedine komponente, dobijajući tako tražena svojstva.

## 4.2 IZBOR MATERIJALA

Osnovni materijali koje danas koristimo su:

- Livena gvožđa
- Čelici

- Obojeni metali i njihove legure
- Polimerni materijali
- Keramika
- Kompozitni materijali (vlaknasto ojačani polimerni materijali, metal – matrica, keramika-matrica, sendvič konstrukcija).

Kada biramo materijal za konstrukciju, prvo što uzimamo u obzir su njegova mehanička svojstva: čvrstoća, tvrdoća, žilavost, modul elastičnosti, specifična čvrstoća ( $R_m/\rho$ ) i specifična krutost ( $E/\rho$ ). Mehanička svojstva moraju da budu takva da ne dođe do trajnih deformacija i loma pod opterećenjem kojem je komponenta izložena u eksploataciji.

Drugo što uzimamo u obzir su fizička svojstva materijala: gustina, temperatura topljenja, specifična toplotna kapacitivnost, koeficijent linearnog širenja, toplotna provodnost, električna, magnetna svojstva i tribološka svojstva.

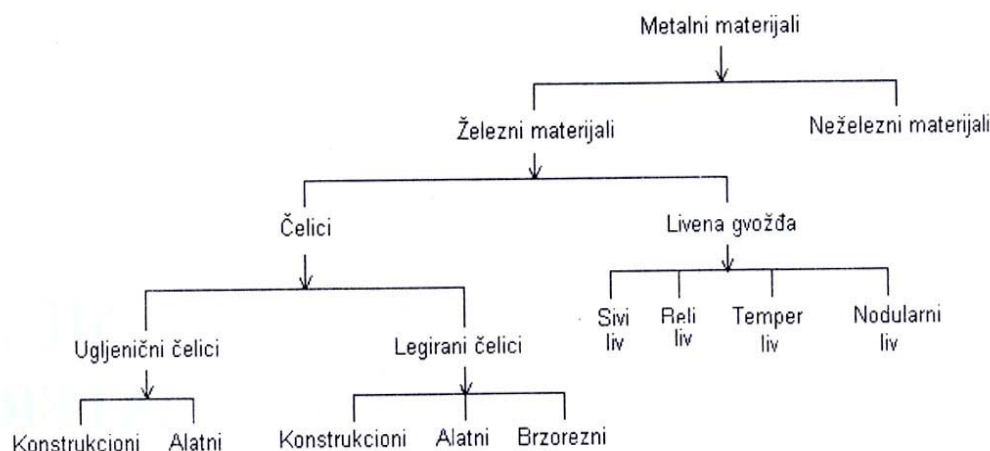
Hemijska svojstva takođe moraju da se uzmu u obzir, naročito ako je konstrukcija izložena uticaju agresivne sredine. Oksidacija i korozija utiču na opšti pad svojstava materijala.

Tehnološka svojstva materijala daju podatke o tome koji materijali mogu relativno lako da se liju, obrađuju deformisanjem (sabijanje, valjanje, izvlačenje itd.), mašinski obrađuju rezanjem, zavaruju i termički obrađuju.

#### 4.3 METALNI MATERIJALI

Metali i legure kao materijali za inženjerske konstrukcije u mašinstvu imaju mnogo dobrih i potrebnih svojstava kao što su: čvrstoća, tvrdoća, plastičnost, žilavost, dobra otpornost na habanje, otpornost na koroziju, postojana svojstva na visokim temperaturama i drugo. Oni imaju velike mogućnosti za poboljšanje svojih svojstava legiranjem, tremičkom obradom, termomehaničkim i termohemijskim obradama.

Metali i legure kao inženjerski materijali mogu biti na bazi železa kada ih nazivamo železnim materijalima (legurama) i na bazi drugih metala koje nazivamo neželeznim materijalima (legurama) – sl. 4.2.



**Slika 4.2 Metalni materijali**

### 4.3.1 ŽELEZNE LEGURE

Ove legure sadrže željezo kao osnovni hemijski element. Zbog svog širokog opsega mehaničkih, fizičkih i hemijskih svojstava, železne legure su od svih drugih metala i legura najviše korišćeni materijali u svim oblastima mašinstva: u automobilske industriji, brodogradnji, za izradu svih vrsta čeličnih konstrukcija, u mostogradnji, za izradu elemenata mašina (zupčanici, vratila, osovine, zavrtnji, opruge i dr.), za izradu železničkih šina, kao i u mnogim drugim oblastima industrije.

Njihova široka, kako smo videli, primena bazira se na tri činjenice: (1) rude željeza nalaze se u velikim količinama u zemljinoj kori; (2) željezo i legure željeza (čelik i livena gvožđa) proizvode se relativno jeftinim tehnološkim procesima (ekstrakcija rude, prečišćavanje, legiranje i proizvodne tehnologije); (3) železne legure pokrivaju široki opseg mehaničkih i fizičkih svojstava.

### 4.3.2 UGLJENIČNI I LEGIRANI ČELICI

Čelicima nazivamo leguru željeza sa ugljenikom i drugim elementima sa sadržajem ugljenika do 2,11%. Čelici kod kojih odlučujući uticaj na strukturu i svojstva ima sadržaj ugljenika nazivaju se ugljenični čelici (nelegirani). Pored ugljenika ovi čelici sadrže i jedan broj stalnih pratećih elemenata kao što su : Mn (do 0,8%), Si (do 0,6%), S (do 0,04%), P (do 0,04%), i gasova O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. U ovim čelicima često u manjim količinama sreću se i drugi slučajni pratioci kao što su Cr, Ni, W, Mo, V, Al i dr.

#### **- Uticaj legirajućih elemenata na svojstva čelika**

Dodavanjem jednog ili, što je još bolje, istovremeno nekoliko legirajućih elemenata, unose se promene u strukturu i svojstva čelika. Legirajući elementi utiču na promenu nekih svojstava tako da:

- Popravljaju mehanička svojstva- zateznu čvrstoću, napon tečenja, dinamičku čvrstoću, trajnu čvrstoću, otpornost na puzanje, tvrdoću, udarnu žilavost, povećavaju granicu elastičnosti;
- Popravljaju otpornost na koroziju, a pri većem sadržaju određenih legirajućih elemenata čelik dobija nerđajuća svojstva;
- Pri većem sadržaju određenih legirajućih elemenata čelici postaju vatrootporni i toplotno postojani;
- Popravljaju prokaljivost;
- Mogu uticati na veličinu metalnih zrna;
- Dodavanjem legirajućih elemenata može se u širokom opsegu menjati toplotna i električna provodljivost, magnetna svojstva;
- Legirajući elementi mogu se rastvarati u rešetki. Čvrsti rastvori legirajućih elemenata izazivaju napone, menjaju oblik i parametre rešetke željeza. Stabilišu ferit na višim, a austenit na nižim temperaturama;
- Legirajući elementi kao što su: Cr, Mo, W, V i Ti , ako ih ima u dovoljnoj količini sa ugljenikom iz čelika grade sopstvene karbide ili sa željezom i ugljenikom kompleksne

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

karbide. Ovi karbidi su veoma tvrdi, kruti, postojani na povišenim temperaturama i otporni na habanje.

Legirajuće elemente prikazaćemo sa kratkim opisom njihovih dobrih i štetnih uticaja na svojstva čelika:

**Ugljenik** povećava zateznu čvrstoću, napon tečenja, tvrdoću, otpornost na habanje, prokaljivost, a snižava žilavost, plastičnost i zavarljivost.

**Mangan** se upotrebljava kao dezoksidaciono sredstvo. Neznatno utiče na zateznu čvrstoću, ali povećava tvrdoću i žilavost, a smanjuje svojstva deformacije (izduženje i suženje). Smanjuje kritičnu brzinu hlađenja i povećava prokaljivost. Povećava otpornost na habanje. Čelici sa većim sadržajem mangana, osetljivi su na pregrevanje zbog sklonosti ka porastu metalnog zrna na povišenim temperaturama.

**Silicijum** se upotrebljava kao dezoksidaciono sredstvo. Povećava zateznu čvrstoću, tvrdoću, ali smanjuje svojstva deformacije. U većim količinama dodaje se čelicima od kojih se traže dobra električna i magnetna svojstva. Smanjuje kritičnu brzinu hlađenja i povećava prokaljivost. Otežava difuziju ugljenika kod cementacije. Naročito je značajna njegova uloga kod čelika za opruge.

**Sumpor** sa železom obrazuje sulfid železa  $\text{FeS}$ , koji se u čeliku nalazi u vidu eutektikuma  $\text{Fe-FeS}$ . Njegova temperatura topljenja je  $985^\circ\text{C}$ . Pri obradi deformacijom u toplom stanju na temperaturama  $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$  eutektik se topi, veza između metalnih zrna slabi i dolazi do loma. Ova pojava se naziva crvena lomkost. Zbog toga je sadržaj sumpora u železu ograničen u zavisnosti od kvaliteta železa na  $0,025\text{--}0,04\%$ . U većem sadržaju do  $0,3\%$  sumpor se nalazi kod čelika za obradu automatima, jer daje krutu strugotinu, koja se lomi u kratke komade i stoga se lako evakuiše.

**Fosfor** povećava zateznu čvrstoću i tvrdoću, a smanjuje svojstvo deformacije. Ne utiče bitno na sposobnost obrade u toplom stanju, ali smanjuje sposobnost deformacije u hladnom stanju. Sadržaj fosfora je ograničen na  $0,025\text{--}0,04\%$  u zavisnosti od kvaliteta čelika. U većem sadržaju do  $0,3\%$  se nalazi kod čelika za obradu automatima.

**Hrom** učestvuje u stvaranju specijalnih karbida, smanjuje kritičnu brzinu hlađenja, povećava prokaljivost i dubinu prokaljivanja. Povećava otpornost na koroziju, otpornost na habanje i čvrstoću na visokim temperaturama. U većim količinama se koristi za postizanje posebnih fizičkih i hemijskih svojstava.

**Nikal** smanjuje kritičnu brzinu hlađenja i povećava prokaljivost čelika, smanjuje krtost čelika kod niskih temperatura i povećava žilavost, a ne utiče na tvrdoću čelika. U većim količinama se koristi za postizanje posebnih fizičkih i hemijskih svojstava.

**Molibden** smanjuje kritičnu brzinu hlađenja i povećava prokaljivost čelika. Povećava zateznu čvrstoću, napon tečenja, tvrdoću, otpornost na habanje i otpornost na puzanje. Smanjuje osetljivost čelika na krtost posle otpuštanja.

**Kobalt** povećava zateznu čvrstoću, napon tečenja, tvrdoću na povišenim temperaturama.

**Volfram** ima isti uticaj kao kobalt.

**Vanadjum** ne utiče na kritičnu brzinu hlađenja i na prokaljivost. Povećava otpornost na habanje, a negativno utiče na zavarljivost.

**Titan** sprečava rast metalnog zrna i osetljivost na pregrevanje. Posebno je važan njegov uticaj u pogledu stabilizacije strukture kod austenitnih čelika.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

**Aluminijum** u većim količinama smanjuje zavarljivost i povećava otpornost na starenje. U manjim količinama pomaže stvaranju sitnozrne strukture.

**Bor** snižava zateznu čvrstoću, povećava plastičnost metala kod obrade u toplom stanju i povećava prokaljivost.

**Bakar** povećava otpornost na atmosfersku koroziju, posebno u morskoj vodi, smanjuje sposobnost zavarivanja. Sadržaj bakra preko 0,3% dovodi do stvaranja površinskih prslina prilikom obrade u toplom stanju.

**Olovo** povećava sposobnost obrade čelika skidanjem strugotina.

**Kiseonik** smanjuje zateznu čvrstoću čelika i nepovoljno utiče na termičku obradu. Dovodi do stvaranja nemetalnih uključaka i gasnih mehura u čeliku.

**Azot** povećava zateznu čvrstoću i tvrdoću čelika, smanjuje njegovo izduženje i suženje. Smanjuje sposobnost obrade deformisanjem u hladnom stanju.

### 4.3.3 PODELA ČELIKA

Čelici se mogu podeliti prema: upotrebi, hemijskom sastavu i kvalitetu.

Osnovna podela čelika bazira se na svrsi njegove upotrebe, a prema tom kriterijumu čelike delimo na tri osnovne grupe:

- **Konstruktivni čelici;**
- **Čelici sa posebnim svojstvima i**
- **Alatni čelici.**

**Konstruktivnim čelicima** smatraju se one vrste čelika koje se upotrebljavaju za gradnju čeličnih konstrukcija ili konstrukcionih elemenata u mašinogradnji, mostogradnji, brodogradnji, u gradnji kotlova, cevovoda, nosećih konstrukcija itd.

**Čelici sa posebnim svojstvima** jesu čelici hemijski postojani – nerđajući čelici i čelici sa naročitim fizičkim svojstvima – magnetni čelici i čelici sa malim koeficijentom linearnog širenja.

**Alatni čelici** su svi nelegirani i legirani čelici koji služe za izradu raznih alata, za obradu materijala u hladnom i toplom stanju.

Čelici prema **hemijskom sastavu** dele se na:

- **Ugljenične čelike**
  - niskougljenični čelik (do 0,25%C)
  - srednjeugljenični čelik (0,265 do 0,60%C)
  - viskougljenični čelik (preko 0,60%C)
- **Legirane čelike**
  - niskolegirani čelici (do 5% legirajućih elemenata) i
  - viskougljenični čelici (preko 5% legirajućih elemenata).

Podela čelika **prema kvalitetu** podrazumeva način dobijanja i sadržaj sumpora i fosfora u čeliku:

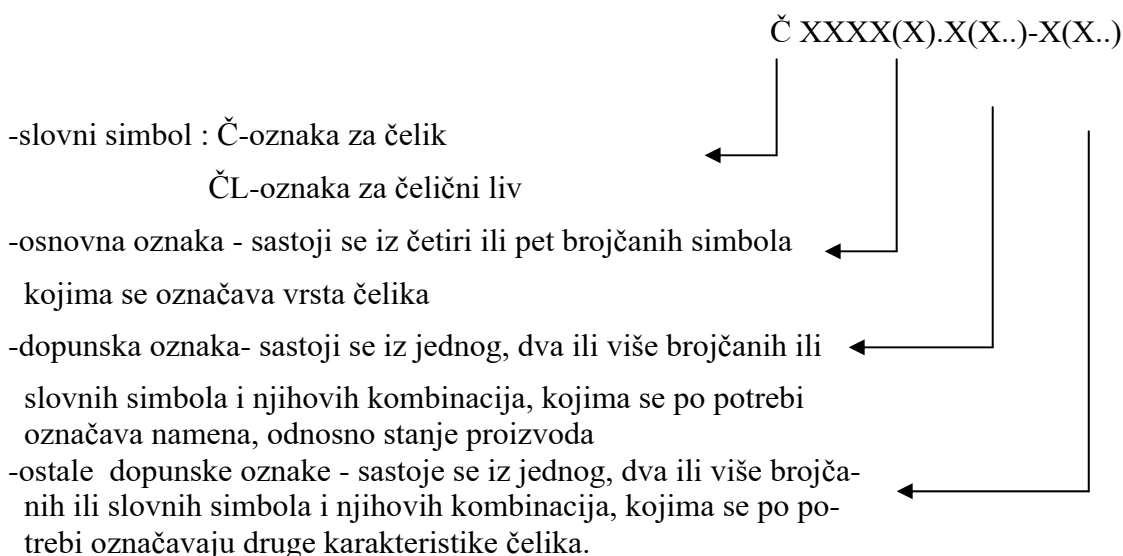


## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

- **Čelici običnog kvaliteta** – ugljeni čelici do 0,5%C proizvedeni u konvertorima sa uduvavanjem kiseonika i u Simens-Martinovim pećima; sa sadržajem sumpora do 0,06% i fosfora do 0,07%.
- **Kvalitetni čelici** – ugljeni i legirani čelici proizvedeni u Simens-Martinovim pećima; sa sadržajem sumpora od 0,35 do 0,040% i fosfora od 0,035 do 0,040%.
- **Visoko kvalitetni čelici** – legirani čelici proizvedeni u elektro pećima; sa sadržajem sumpora do 0,025% i fosfora do 0,025%.
- **Plemeniti čelici** – legirani čelici proizvedeni u elektro pećima, pretapanjem pod troškom i drugim metodama; sa sadržajem sumpora do 0,015% i fosfora do 0,015%.

### - Označavanje vrste čelika

Prema standardu čelici se označavaju oznakom koja se sastoji iz četiri dela:



Ugljeni čelici sa utvrđenim mehaničkim svojstvima i delimično utvrđenim, ili neutvrđenim hemijskim sastavom u strukturi oznake imaju:

- na prvom mestu oznake broj 0
- na drugom mestu osnovne oznake brojeani simbol koji označava nazivnu, odnosno minimalnu vrednost zatezne čvrstoće koja je utvrđena za čelike u toplo oblikovanom ili normalizovanom stanju (značenje simbola dato je u tabeli 4.1)
- na trećem i četvrtom, odnosno trećem, četvrtom i petom mestu osnovne oznake brojeani simbol označava pripadnost čelika određenoj podgrupi (značenje simbola dato je u tabeli 4.2).

Za ugljenične čelike sa garantovanim (utvrđenim hemijskim sastavom):

- na prvom mestu osnovne oznake je broj 1
- na drugom mestu osnovne oznake dolazi desetostruka vrednost maksimalnog procenta sadržaja ugljenika zaokruženog na desetine;
- na trećem i četvrtom, odnosno trećem, četvrtom i petom mestu osnovne oznake brojeani simbol označava pripadnost čelika određenoj podgrupi (značenje simbola dato je u tabeli 4.2).

Kod legiranih čelika za najuticajniji element smatra se onaj koji ima brojeano najveći proizvod, dobijen množenjem srednjeg procentualnog sadržaja u čeliku tog elementa i faktora uticaja (tabela 4.4). Ako kod višestruko legiranih čelika više legirajućih elemenata imaju isti proizvod, za najuticajniji element uzima se onaj koji ima veći broj prema tabeli 4.3. Za legirane čelike biće:

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

- na prvom mestu je brojčani simbol najuticajnijeg legirajućeg elementa (značenje simbola dato je u tabeli 4.3).
- na drugom mestu osnovne oznake dolazi brojčani simbol elementa drugog po uticaju. Kod jednostruko legiranih čelika simbol na drugom mestu uvek je 1;
- na trećem, četvrtom i petom mestu osnovne oznake dolaze brojčani simboli koji označavaju podgrupu čelika po nameni (značenje simbola dato je u tabeli 4.5).

Dopunska oznaka čelika i osnovnih proizvoda od čelika koristi jedan ili više brojeva ili slova, a u nekim slučajevima i kombinaciju brojeva i slova. Brojčani ili slovni simboli dopunske oznake stanja osnovnih proizvoda od čelika date su u tabeli 4.6.

Ostale dopunske oznake utvrđene su po potrebi odgovarajućim JUS ISO standardima za tehničke uslove za čelike i čelični liv.

**Tabela 4.1**

Brojčani simboli na drugom mestu osnovne oznake za ugljenične čelike sa utvrđenim mehaničkim svojstvima

| Brojčani simbol | Nazivna zatezna čvrstoća, N/mm <sup>2</sup> |
|-----------------|---------------------------------------------|
| 0               | nije utvrđena                               |
| 1               | do 320                                      |
| 2               | od 320 do 360                               |
| 3               | od 360 do 380                               |
| 4               | od 390 do 480                               |
| 5               | od 490 do 580                               |
| 6               | od 590 do 680                               |
| 7               | od 690 do 780                               |
| 8               | od 790 do 880                               |
| 9               | od 890 i više                               |

**Tabela 4.2**

Brojčani simbol na trećem, četvrtom i petom mestu za čelike sa utvrđenim mehaničkim svojstvima

| Brojčani simbol * | Pod grupa čelika                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 00 do 44          | Podgrupa ugljeničnih čelika bez utvrđenog sadržaja %S i %P                                                                                                                                                                              |
| 101 do 449        | Slobodno                                                                                                                                                                                                                                |
| 45 do 79          | Podgrupa čelika sa ograničenim sadržajem %S i %P. Za čelike iz ove podgrupe delimično se ograničava sadržaj osnovnih hemijskih elemenata C, Si i Mn                                                                                     |
| 451 do 799        | Podgrupa čelika sa ograničenim sadržajem %S i %P, delimično utvrđenim sadržajem osnovnih hemijskih elemenata C, Si i Mn, i sa dodatkom legirajućih elemenata koji se dodaju čeliku u cilju postizanja specijalnih mehaničkih svojstava. |
| 80 do 99          |                                                                                                                                                                                                                                         |
| 801 do 999        |                                                                                                                                                                                                                                         |

\* Na petom mestu se ne koristi broj 0.

**Tabela 4.3**

Brojčani simbol za najuticajnije hemijske elemente

| Brojčani simbol    | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7  | 8 | 9      |
|--------------------|---|----|----|----|----|---|----|---|--------|
| Legirajući element | C | Si | Mn | Cr | Ni | W | Mo | V | ostali |

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

**Tabela 4.4**

| Faktor uticajnosti legirajućeg elementa |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |        |        |
|-----------------------------------------|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|--------|--------|
| Legirajuću<br>element                   | Si | Mn | Cr | Ni | W | Mo | V  | C  | Ti | Cu | A<br>l | Ostali |
| Faktor uticaja                          | 1  | 1  | 4  | 4  | 7 | 14 | 17 | 20 | 30 | 1  | 1      | 30     |

**Tabela 4.5**

Brojčani simboli na trećem, četvrtom i petom mestu osnovne oznake koji označavaju podgrupu čelika po nameni.

| Brojčani simbol * | Podgrupa čelika po nameni                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 00 do 19          | Ugljenični čelici sa utvrđenim sastavom i legirani čelici koji nisu namenjeni termičkoj obradi. |
| 101 do 199        |                                                                                                 |
| 20 do 29          |                                                                                                 |
| 201 do 299        | Ugljenični i legirani čelici za cementaciju.                                                    |
| 30 do 39          | Ugljenični i legirani čelici za poboljšanje.                                                    |
| 301 do 399        |                                                                                                 |
| 40 do 59          | Ugljenični i legirani čelici za alate.                                                          |
| 401 do 599        |                                                                                                 |
| 60 do 69          | Čelik sa naročitim fizičkim svojstvima                                                          |
| 601 do 699        | Slobodno za čelike koji ne pripadaju ostalim podgrupama.                                        |
| 70 do 79          | Čelici hemijski postojani i vatrootporni.                                                       |
| 701 do 799        |                                                                                                 |
| 80 do 89          | Brzorezni čelici.                                                                               |
| 801 do 899        | Slobodno **                                                                                     |
| 90 do 99          | Čelici za automate                                                                              |
| 901 do 999        | Slobodno za čelike koji ne pripadaju ostalim podgrupama                                         |

\* Na petom mestu se ne koristi nula.

\*\* Rezervisano za nove podgrupe ili za podgrupe koje su popunjene.

**Tabela 4.6**

| Dopunske oznake za stanje osnovnih proizvoda od čelika |                                                          |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Oznaka stanja                                          | Stanje čelika                                            |
| 0                                                      | Bez određene termičke obrade                             |
| 1                                                      | Žareno                                                   |
| 2                                                      | Žareno na najbolju obradivost                            |
| 2A                                                     | Termički obrađeno na određenu vrednost zatezne čvrstoće. |
| 2B                                                     | Termički obrađeno na feritno-perlitnu strukturu          |
| 2C                                                     | Pogodno za sečenje u hladnom stanju                      |
| 2D                                                     | Žareno na globularni cementit                            |
| 3                                                      | Normalizovano                                            |
| 4                                                      | Poboljšano                                               |
| 5                                                      | Vučeno - hladno deformisano                              |
| 6                                                      | Ljušteno                                                 |
| 7                                                      | Brušeno                                                  |
| 8                                                      | Kontrolisano hladeno                                     |
| 8A                                                     | Gašeno                                                   |
| 8B                                                     | Termomehanički obrađeno                                  |
| 9                                                      | Obrađeno po posebnim uputstvima                          |
| K                                                      | Za vruće kovanje i presovanje                            |
| H                                                      | Za hladno oblikovanje valjcima (profilisanje)            |
| S                                                      | Za hladno presovanje                                     |
| V                                                      | Za vučenje                                               |
| Z                                                      | Za izradu zavarenih cevi                                 |

### 4.3.4 KONSTRUKCIONI ČELICI

Od konstrukcionih čelika, od kojih se izrađuju najrazličitije konstrukcije, delovi mašina i uređaja u različitim oblastima industrije, zahteva se da imaju dobra mehanička svojstva, da se dobro obrađuju rezanjem, deformisanjem, (kovanje, valjanje, izvlačenje, presovanje), da imaju dobru zavarljivost, prokaljivost, pouzdanost u radu i nisku cenu. Konstrukcioni čelici, u zavisnosti od uslova rada delova mašina i uređaja, moraju imati visoku čvrstoću i plastičnost kako na sobnoj, tako i na povišenim i niskim temperaturama, elastičnost, dobru otpornost na udarna opterećenja, otpornost na habanje, otpornost na zamor i otpornost prema krtom lomu. Savremene konstrukcije, delovi mašina i uređaja, koji se razlikuju po obliku i veličini, rade u otežanim uslovima eksploatacije, pri stalnom porastu dinamičkih i promenljivih opterećenja, složenim naprezanjima, širokom opsegu radnih temperatura i agresivnim sredinama. U vezi s tim konstrukcioni čelici moraju imati određena mehanička svojstva koja će u najboljem stepenu definisati radnu sposobnost, potreban stepen sigurnosti ili pouzdanosti, krutost mašinskog dela i sl.

#### 4.3.4.1 Opšti konstrukcioni čelici

U ovu grupu čelika spadaju nelegirani i niskolegirani čelici. To su čelici sa garantovano mehaničkim svojstvima: zateznom čvrstoćom, napon tečenja i svojstva deformacije na sobnoj temperaturi, udarna žilavost kao i svojstvo savijanja. Isporučuju se kao neumireni, umireni i specijalno umireni u stanju bez termičke obrade ili normalizovani. Primenuju se za izradu zavarenih konstrukcija i cevovoda, konstrukcija spojenih vijcima i zakovicama, u visokogradnji, mostogradnji, hidrogradnji i mašinogradnji ili za dalju preradu hladnim presovanjem, vučenjem i vrućim kovanjem ili valjanjem.

Opšti konstrukcioni čelici svrstani su u šest grupa kvaliteta i to:

- Grupa O pripada čelik čija je oznaka Č 0000;
- Grupa A pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 0;
- Grupa B pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 1;
- Grupa C pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 2;
- Grupa D pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 3;
- Grupa M pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 5.

Čelici grupe O koriste se delove koji su slabo opterećeni i nisu odgovorni, kao što su šipke za ograde, rešetke i sl. (Č 0000).

Čelici grupe A koriste se za zavarene konstrukcije manje statički opterećene i da nisu izložene većim temperaturnim promenama, niti temperaturama nižim od  $-10^{\circ}\text{C}$  (Č 0270, Č 0370, Č 0460).

Čelici grupe B koriste se za odgovorne zavarene konstrukcije kod kojih ne postoji opasnost od krtog loma, koji su statički opterećeni pritiskom i smicanjem i za manje odgovorne delove koji su statički opterećeni na sve vrste naprezanja. Mogu biti izloženi promenama temperature, ali ne nižim od  $-10^{\circ}\text{C}$ . (Č 0261, Č 0271, Č 0361, Č 0371, Č 0461, Č 0471, Č 0481, i Č 0561).

Čelici grupe C koriste se za odgovorne zavarene konstrukcije izložene statičkim ili dinamičkim opterećenjima, ali ne i niskim temperaturama. (Č 0362, Č 03482, Č 0562).

Čelici grupe D koriste se za odgovorne zavarene konstrukcije izložene dinamičkim opterećenjima na zatezanje i smicanje. Za konstrukcije izložene niskim temperaturama  $> -30^{\circ}\text{C}$ . (Č 0363, Č 0463, Č 0483, Č 0563).

Čelici grupe M koriste se za odgovorne mašinske delove kao što su : osovine, vratila, zupčanici, klinovi i dr., a koji su izloženi visokim opterećenjima (Č 0545, Č 0645, Č 0745). Hemijski sastav i mehanička svojstva opštih konstrukcionih čelika propisani su standardom JUS C.BO.500.

### 4.3.4.2 Čelici za cementaciju

Čelici za cementaciju su konstrukcioni čelici sa malim sadržajem ugljenika (0.1 - 0.25%) i upotrebljavaju se za mašinske delove kod kojih se površinski sloj cementira ili karbonitrira. Posle cementiranja ili karbonitriranja, kaljenja i niskog otpuštanja postiže se visoka tvrdoća, otpornost na habanje i otpornost na koroziju površinskog sloja, dok jezgro čelika za cementaciju mora imati dobra mehanička svojstva, posebno visoku vrednost napona tečenja i udarne žilavosti.

Prema hemijskom sastavu čelici za cementaciju mogu biti:

- Ugljenični (nelegirani) čelici i
- Legirani čelici.

**Ugljenični čelici za cementaciju.** Ovi čelici (Č 1120, Č 1121, Č 1221, Č 1281) jesu niskougljenični sa sadržajem ugljenika do 0.20% i imaju malu prokaljivost. Upotrebljavaju se za izradu delova malih dimenzija i jednostavnih oblika, izloženih habanju i malim opterećenjima, i gde se ne zahteva velika čvrstoća jezgra (ručice, poluge, rukavci, zglobovi i sl.). Posle cementacije, kaljenja i niskog otpuštanja površinski sloj delova, izrađenih od ove vrste čelika, ima visoku čvrstoću HRc 58-62 (martenzitna struktura), a jezgro ostaje nepromenjeno, feritno-perlitne strukture tvrdoće HRc 20-35.

**Legirani čelici za cementaciju.** Ovi čelici su niskolegirani sa hromom, manganom, niklom, molibdenom, sa sadržajem ugljenika 0,18 – 0,24%. Upotrebljavaju se za izradu delova većih dimenzija, jače opterećenih i odgovornih, od kojih se zahteva visoka tvrdoća i žilavost površinskog sloja, a pošto imaju dobru prokaljivost, termičkom obradom može se postići i dovoljno visoka vrednost napona tečenja i žilavost jezgra.

### 4.3.4.3 Čelici za poboljšanje

Čelici za poboljšanje jesu čelici koji se upotrebljavaju posle termičke obrade poboljšanjem (kaljenje + visoko otpuštanje). Čelici za poboljšanje posle termičke obrade moraju imati visoku vrednost napona tečenja i zatezne čvrstoće, dobru plastičnost, malu osetljivost na koncentraciju napona, a delovi koji su u eksploataciji izloženi naizmenično promenljivim opterećenjima – visoku vrednost dinamičke čvrstoće i dovoljnu udarnu žilavost. Pored toga čelici za poboljšanje moraju imati dobru prokaljivost i malu osetljivost prema otpusnoj krtosti.

Prema hemijskom sastavu čelici za poboljšanje mogu biti:

- Ugljenični (nelegirani) i
- Legirani čelici.

**Ugljenični čelici za poboljšanje.** To su srednje ugljenični čelici sa sadržajem ugljenika od 0,3 do 0,5%. Zbog male prokaljivosti ovi čelici se upotrebljavaju za izradu delova preseka do 100mm, imaju malu sklonost prema obrazovanju prslina, ali su osetljivi na zareze, koja raste sa porastom sadržaja ugljenika (Č 1730, Č 1731). Nisu skloni prema otpusnoj krtosti. Za

izradu mašinskih delova koji su manje opterećeni upotrebljavaju se čelici Č 1330, Č 1430. Najveću primenu imaju čelici Č 1530, Č 1531, Č 1580, Č 16301, Č 16302, Č 1630, Č 1631, Č 1680, Č 1730, Č 1731, Č 1780 koji se upotrebljavaju za izradu delova kod kojih se zahteva veća čvrstoća (kolenasta vratila, bregaste osovine, osovinice klipova, zavrtnji, zupčanici i drugi delovi).

**Legirani čelici za poboljšanje.** Za izradu mašinskih delova većeg poprečnog preseka do 250mm, upotrebljavaju se čelici legirani sa hromom (0,4 do 2,7%), niklom (0,9 do 2,2%), molibdenom (0,15 do 0,30%) i vanadijumom (0,10 do 0,20%) jer imaju dobru prokaljivost.

### 4.3.5 ALATNI ČELICI

Alatnim čelicima nazivaju se ugljenični i legirani čelici koji imaju visoku tvrdoću, čvrstoću, dobru žilavost i otpornost na habanje, a upotrebljavaju se za izradu različitih alata za obradu metala i drugih materijala.

Pored dobrih mehaničkih svojstava čelik za alate mora imati i druga svojstva, kao što su:

- Dobra toplotna stabilnost tj. da se ne promeni struktura i mehanička svojstva pri zagrevanju alata u toku procesa rada,
- Potrebna prokaljivost. Visokolegirani i toplotno postojani čelici poseduju visoku prokaljivost, koja se zahteva kod većine alata za rezanje, alata za obradu deformacijom na hladno (alati sa dubljom gravurom). Za alate koji su u radu izloženi jačim udarnim opterećenjima zahteva se manja prokaljivost,
- Postojanost prema razugljenisanju i oksidaciji jer ove pojave smanjuju čvrstoću, tvrdoću i otpornost na habanje,
- Dobra toplotna provodljivost da bi se sprečilo pregrevanje, a time i smanjenje čvrstoće u površinskim slojevima alata, što je naročito važno kod alata za obradu deformacijom u toplem stanju,
- Mali koeficijent linearnog širenja na temperaturama kojima alat izložen u toku rada,
- Mogućnost dobre obrade brušenjem, što je naročito važno pri izradi alata za merne instrumente.

Prema nameni, alatni čelici se dele na četiri osnovne grupe: (1) čelici za alate za obradu sečenjem i rezanjem, (2) čelici za alate za obradu deformacijom u hladnom stanju, (3) čelici za alate za obradu deformacijom u toplom stanju i (4) čelici za merne instrumente.

#### - Brzorezni alatni čelici

Za razliku od drugih alatnih čelika za alate za rezanje brzorezni alatni čelici su toplotno stabilni, tj. zadržavaju martenzitnu strukturu, visoku tvrdoću, čvrstoću i otpornost na habanje na povišenim temperaturama (620 - 650°C), koje se pojavljuju na reznim površinama alata pri rezanju velikim brzinama. Brzorezni alatni čelici dozvoljavaju 2-4 puta veće brzine rezanja, a postojanost alata je 10-30 puta veća u poređenju sa alatima za rezanje izrađenih od ugljeničnih alatnih čelika. Brzorezni alatni čelici su visokolegirani. Osnovni legirajući elementi brzoreznih alatnih čelika, koji obezbeđuju toplotnu stabilnost u prvom redu su volfram i molibden. Dodavanjem kobalta i vanadijuma brzorezni alatni čelici povećavaju toplotnu stabilnost (645-650°C), a takođe zadržavaju i visoku tvrdoću posle termičke obrade (HRC 63-65). Hrom takođe učestvuje u obrazovanju karbida, ali njegovi karbidi su manje postojani; hrom, međutim, utiče na povećanje prokaljivosti. Sadržaj ugljenika mora biti dovoljan i usaglašen sa sadržajem karbidoobrazujućih elemenata. Navedeni legirajući

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

elementi obezbeđuju brzoreznim alatnim čelicima dovoljnu količinu , na povišenim temperaturama postojanih, tvrdih karbida.

Svoja najbolja radna svojstva brzorezni alatni čelici dobijaju posle obrade deformacijom u toplom stanju i termičke obrade.

Brzorezni alatni čelici posle livenja u strukturi imaju karbide tipa MC, koji očvršćavaju kao primarni karbidi i složene eutektičke karbide (ledeburitni karbidi) izdvojene na granicama metalnih zrna.

Obradom brzoreznih alatnih čelika deformisanjem u toplom stanju (kovanje, valjanje, izvlačenje) razbija se krupnozrna livena struktura, usitnjavaju se i ravnomerno raspoređuju karbidi u metalnoj osnovi. Posle obrade deformisanjem brzorezni alatni čelici podvrgavaju se žarenju (840-860°C), čime se uklanjaju zaostali naponi uneti obradom deformisanjem, smanjuje tvrdoća i struktura čelika se pripremi za termičku obradu. Termička obrada brzoreznih alatnih čelika sastoji se iz kaljenja i višestukog (najčešće trostrukog) otpuštanja.

Rezna sposobnost i tvrdoća alata izrađenih od brzoreznih alatnih čelika mogu se povećati nitriranjem. Tvrdoća nitriranog sloja je HV 1000-1100, a njegova debljina 20-30 µm. Povećanje tvrdoće može se postići i nanošenjem tvrdih prevlaka debljine 5-20 µm na režuće površine alata, TiC, TiN ili drugih teško topljivih jedinjenja, koje poseduju visoku tvrdoću (HV 2500-4500).

U zavisnosti od najuticajnijeg legirajućeg elementa označavaju se tipovi brzoreznih alatnih čelika: molibdenski, volframovi, kobaltni i vanadijumski.

Molibdenski brzorezni alatni čelici sadrže 5-10% molibdena, hroma, vanadijuma, volframa, kobalta, kao i druge legirajuće elemente. Odlikuju se visokom otpornošću na habanje i dobrom žilavošću. Molibdenski čelici Č 7680, Č 7880 i Č 9780 koriste se za izradu alata za obradu čelika, koji su izloženi udarima u toku rada: noževi i glodala za grubu obradu, spiralne burgije.

Volframovi brzorezni alatni čelici sadrže 12-18% volframa, hroma, vanadijuma, molibdena, kobalta, kao i druge legirajuće elemente. Volframovi brzorezni alatni čelici Č 6880, Č 6980 i Č 9682 namenjeni su za izradu alata za obradu rezanjem srednje tvrdih materijala, za jače opterećene alate pri visokim brzinama rezanja i za grubu obradu pod najtežim uslovima.

### **4.3.6 LIVENA GVOŽĐA**

Livena gvožđa su legure železa sa ugljenikom sa sadržajem više od 2,11%C, u praksi livena gvožđa sadrže 2-4%C. Drugi legirajući elementi mogu takođe da budu dodati za dobijanje ili promenu određenih svojstava.

Livena gvožđa predstavljaju odlične legure za livenje jer imaju nisku temperaturu topljenja i vrlo su tečljive u tečnoj fazi. Livena gvožđa očvršćavaju sa malim skupljanjem za vreme hlađenja, imaju širok opseg čvrstoće i tvrdoće, u mnogim slučajevima lako se obrađuju rezanjem, imaju dobru otpornost na habanje, abraziju i koroziju. Ipak, livena gvožđa imaju relativno nisku vrednost udarne žilavosti i malu plastičnost što ograničava, u nekim slučajevima, njihovu upotrebu. Livena gvožđa su široko primenjivan materijal za izradu livenih delova koji su izloženi relativno niskim opterećenjima i koji nisu dinamički opterećeni. Široka industrijska primena livenih gvožđa pripisuje se uglavnom niskoj ceni i mnogostranim inženjerskim svojstvima.

U zavisnosti od oblika ugljenika razlikuju se livena gvožđa:

- Belo liveno gvožđe, kod kojeg je celokupan sadržaj ugljenika vezan u jedinjenju Fe<sub>3</sub>C-cementitu. Struktura belog livenog gvožđa je perlit, cmentit i ledeburit,



## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

- Sivo liveno gvožđe, kod kojeg se celokupan ugljenik nalazi u slobodnom stanju u vidu grafita, ili jedan deo (veći) nalazi u vidu grafita, a drugi deo vezan u jedinjenju  $\text{Fe}_3\text{C}$ -cementit. Oblik grafita je lamelarni, nodularni liv, takođe je sivi liv, ali je grafit izdvojen u obliku nodula (kuglica).
- Temper liveno gvožđe, kod kojeg je ugljenik izdvojen u vidu temper grafita.

Kako je prikazano u podeli livenih gvožđa, između sivog liva, liva visoke tvrdoće i temper livenog gvožđa, razlika je samo u obliku izdvojenog slobodnog ugljenika – grafita. Ovaj izdvojeni grafit kod livenih gvožđa u većem ili manjem stepenu slabi metalnu osnovu u kojoj se nalazi.

### **- Sivo liveno gvožđe**

Sivo liveno gvožđe se obrazuje kada količina ugljenika u leguri pređe vrednost koja se može rastvoriti u austenitu. Višak ugljenika u procesu očvršćavanja izdvaja se u obliku međusobno povezanih lamela grafita razmeštenih u metalnoj osnovi. Tačke u kojoj su povezane lamele predstavljaju centre kristalizacije grafita.

Siva livena gvožđa su podeutektičke legure koje sadrže 3,1 – 3,8%C, 1,8-2,8%Si i neizbežnu količinu pratećih elemenata Mn, P i S. Što je sadržaj ugljenika u sivom livenom gvožđu veći, to se obrazuje veća količina grafita, a time i slabija mehanička svojstva. Zbog toga sadržaj ugljenika obično ne prelazi 3,8%C, a da bi se obezbedila dobra livačka svojstva (dobra livkost) ne sme biti manji od 2,4%C. Relativno veći sadržaj silicijuma koristi da potpomaže svaranje grafita. Brzina hlađenja takođe može biti važan faktor koji utiče na oblik i veličinu grafitnih lamela. Veće brzine hlađenja pomažu stvaranje sitnijih grafitnih lamela.

Izmenom, s jedne strane sadržaja ugljenika i silicijuma, a s druge strane promenom brzine hlađenja mogu se dobiti različite strukture metalne osnove sivog livenog gvožđa. Umerene brzine hlađenja (tanki odlivci – debljine 20-60mm) idu u prilog formiranju perlitne strukture metalne osnove, dok se pri manjim brzinama hlađenja (deblji odlivci 60-120mm) formira feritno-perlitna struktura metalne osnove. Dobijanje čisto feritne metalne osnove sivo liveno gvožđe se žari da bi se zaostali ugljenik u metalnoj osnovi nataložio na postojeće grafitne lamele, ostavljajući metalnu osnovu potpuno feritne strukture.

Mehanička svojstva sivog livenog gvožđa zavise od strukture metalne osnove kao i od vrste, rasporeda i količine grafita. Što je manje grafita, što su grafitne lamele sitnije i u većem stepenu izolovane, to su bolja mehanička svojstva. Siva livena gvožđa sa većom količinom krupnih grafitnih lamela koje presecaju njegovu metalnu osnovu imaju slabija mehanička svojstva.

Grafitne lamele podsećaju na tanke prsline u strukturi sivog livenog gvožđa, sa oštrim krajevima koji predstavljaju izvor koncentracije napona pri zatezanju, zbog toga siva livena gvožđa imaju malu zateznu čvrstoću i žilavost, a izduženje od samo 1% i manje. Čvrstoća i plastičnost sivog livenog gvožđa su znatno veći pri opterećenju na pritisak.

Siva livena gvožđa su veoma važan inženjerski materijal i imaju široku primenu jer poseduju neka svojstva koja ih favorizuju u odnosu na druge metalne materijale: imaju dobru otpornost na koroziju, dobru otpornost na habanje, dobro prigušuju vibracije, dobru toplotnu provodljivost, dobro se obrađuju rezanjem. Dalje, imaju nisku temperaturu topljenja (~400°C nižu u odnosu na čelik), mali temperaturni interval očvršćavanja, mali koeficijent skupljanja, u rastopljenom stanju imaju dobru tečljivost na temperaturi livenja što dozvoljava livenje delova složenog oblika; takođe, odlivci su bez grešaka usled skupljanja, raslojavanja i prslina. Konačno, i možda najvažnije, odlivci od sivog livenog gvožđa su jeftiniji nego odlivci od drugih livenih gvožđa.

Sivi liv SL150 upotrebljava se za manje opterećene delove: postolja mašina, kućišta menjača, kanalizacioni i sanitarni liv. SL 200 i SL 250 upotrebljava se za: vodovodne cevi i

armature, za kočione doboše motornih vozila. SL 300 i SL 350 upotrebljava se za odgovorne odlivke: za cevi pod pritiskom, za blokove motora sa unutrašnjim sagorevanjem, za delove izložene habanju u uslovim visokog pritiska, za delove kompresora i turbina košuljice cilindra dizel motora, itd.

**Modificirano sivo liveno gvožđe.** Za visoki kvalitet odlivaka sa različitim debljinama zida upotrebljava se modificirano sivo liveno gvožđe perlitne metalne osnove sa manjom količinom grafitnih lamela srednje veličine. Modificirano sivo liveno gvožđe dobija se dodavanjem 0,3-0,8% ferosilicijuma u pregrejani rastopljen liv temperature 1400°C neposredno pred izlivanje u kalupe. Modificiranju se podvrgava niskougljenično sivo liveno gvožđe koje sadrži 2,2-3,2%C, relativno mali procenat 1-2,9%Si i povećan procenat 0,2-1,1%Mn.

Za smanjivanje zaostalih napona posle livenja i stabilizaciju dimenzija odlivke sivog livenog gvožđa potrebno je termički obraditi.

### **- Temper liv**

Temper liv se dobija dugotrajnim žarenjem na visokoj temperaturi odlivaka od belog livenog gvožđa. Pri žarenju dolazi do razlaganja cementita u belom livenom gvožđu na austenit i grafit. Grafit u temper livu je u obliku nepravilnih skupina (pahuljica) i naziva se temper grafit.

Temper liv je važan inženjerski materijal jer ima mnoga dobra tražena svojstva kao što su: livkost, obradivost rezanjem, otpornost na koroziju, relativno dobru zateznu čvrstoću i žilavost.

Odlivci od temper liva upotrebljavaju se za izradu tankozidnih delova u automobilskoj industriji, za delove poljoprivrednih i građevinskih mašina. Sastav belog livenog gvožđa, koje se podvrgava žarenju, je podeutektički (2,5-3%C, 0,7-1,5%Si, 0,3-1%Mn,  $\leq 0,12\%Si$  i  $\leq 0,18\%P$ ) i ima strukturu ledeburit + cementit + perlit. Smanjeni sadržaj ugljenika povećava plastičnost, jer se smanjuje količina grafita koji se izdvaja u procesu žarenja, a smanjen procenat silicijuma sprečava pojavu grafitnih lamela u strukturi odlivaka.

Proces dobijanja temper liva sastoji se iz dve faze: grafitizacija i hlađenje.

### **- Belo liveno gvožđe**

Belo liveno gvožđe dobija se kada velika količina ugljenika koja se nalazi u rastopljenom livenom gvožđu formira jedinjenje karbid železa u procesu očvršćavanja. Struktura odlivaka belog livenog gvožđa sadrži veliku količinu karbida železa na perlitnoj osnovi. Da bi se zadržao ugljenik u jedinjenju  $Fe_3C$  u belom livenom gvožđu sadržaj ugljenika i silicijuma mora biti veoma nizak (2,5-3%C i 0,5-1,5%Si), a brzina hlađenja velika.

Belo liveno gvožđe zbog velike količine cementita ima veliku tvrdoću, veoma je krto i teško se obrađuje rezanjem, zbog čega ima ograničenu upotrebu sem u slučajevima gde se zahteva visoka površinska tvrdoća, otpornost na habanje i mali stepen plastičnosti, kao na primer: za izradu valjaka u valjaonicama, točkova železničkih vagona i dr.. Uglavnom belo liveno gvožđe se upotrebljava kao polazna sirovina za proizvodnju odlivaka temperovanjem.

## **4.3.7 ALUMINIJUM I NJEGOVE LEGURE**

Aluminijum poseduje kombinaciju svojstava koje ga čine krajnje podesnim inženjerskim materijalom. Temperatura topljenja aluminijuma je 660°C. Aluminijum se

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

kristališe po kubnoj površinski centriranoj rešetki. Najvažnije svojstvo aluminijuma je njegova mala gustina  $2,7\text{g/cm}^3$ . Aluminijum ima dobru električnu i toplotnu provodljivost. Aluminijum poseduje visoku korozivnu otpornost jer se na njegovoj površini stvara tanak homogeni sloj aluminijum oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  koji ga štiti od daljih uticaja, otporan je na mnoge organske kiseline, posebno je otporan na azotnu kiselinu. Aluminijum je netoksičan, nemagnetičan, ima dobru obradivost deformisanjem, obrada rezanjem je nešto otežana i dobro se zavaruje.

Mehanička svojstva aluminijuma tehnički čistog (99,6%) u žarenom stanju jesu: konvencionalni napon tečenja  $R_{p_{0,2}}=24\text{N/mm}^2$ , zatezna čvrstoća  $R_m=69\text{N/mm}^2$ , tvrdoća HBS 19 i modul elastičnosti  $E=7000\text{N/mm}^2$ . Aluminijum hladno deformisan ima povećanu čvrstoću, ali smanjenu plastičnost:  $R_{p_{0,2}}=124\text{ N/mm}^2$ ,  $R_m=130\text{N/mm}^2$ , HBS 35. Tehnički čist aluminijum upotrebljava se za izradu konstrukcija i elemenata koji nisu jako opterećeni, kada se zahteva velika plastičnost, dobra zavarljivost, visoka otpornost na koroziju, dobra električna i toplotna provodljivost. U mašinstvu najviše se koriste legure aluminijuma.

### **- Označavanje aluminijuma i legura aluminijuma**

Označavanje osnovnog hemijskog sastava aluminijuma i legura aluminijuma obavlja se na dva načina, i to:

- Hemijskim simbolima i brojčanim oznakama sadržaja pojedinih legirajućih elemenata (slovno-brojčana oznaka) i
- Brojčanim oznakama.

Oznaka za čist aluminijum sastoji se od hemijskog simbola Al iza kojeg se stavlja brojčana oznaka kojom se izražava njegova čistoća u procentima.

Za dvojne (dvokomponentne) legure slovno-brojčana oznaka sadrži:

- Hemijski simbol za osnovni element, aluminijum,
- Hemijski simbol za glavni dodatni element i
- Brojčanu oznaku nazivnog sadržaja glavnog dodatnog elementa.

Za trojne i višekomponentne legure slovno-brojčana oznaka sadrži:

- Hemijski simbol za aluminijum,
- Hemijski simbol za prvi glavni dodatni element,
- Brojčanu oznaku nazivnog sadržaja glavnog dodatnog elementa,
- Hemijski simbol za drugi glavni dodatni element i
- Brojčanu oznaku nazivnog sadržaja drugog dodatnog elementa.

### **- Legure aluminijuma**

Aluminijum se može legirati sa većim brojem elemenata od kojih su najvažniji: Mn, Mg, Si, Cu i Zn sa kojima stvara familije legura aluminijuma kao krajnje podesnih inženjerskih materijala.

Sve legure aluminijuma podeljene su na dve osnovne grupe:

- Legure aluminijuma za plastičnu preradu i
- Legure aluminijuma za livenje.

Svaka od ovih grupa ima dve podgrupe: legure koje se termički ne obrađuju (ojačavaju rastvaranjem, deformaciono i disperzno) i legure koje se termički obrađuju (ojačavaju termičkim taloženjem).

**Legure aluminijuma za plastičnu preradu koje se termički ne obrađuju.** U ovu grupu legura aluminijuma spadaju : komercijalno čist aluminijum (minimum 99,0%Al), familije legura Al-Mn, Al-Mg i neke legure Al-Si. U žarenom stanju ove legure imaju niske vrednosti čvrstoće, ali dobru plastičnost.

Komercijalno čist aluminijum (minimum 99,0%Al) je jednofazna legura sa manjim količinama železa i silicijuma, kao glavnim primesama (legirajući elementi) i sa dodatkom 0,12%Cu, što utiče na povećanje čvrstoće. Ojačavanje komercijalno čistog aluminijuma postiže se deformacionim ojačavanjem i kontrolom veličine metalnog zrna. Komercijalno čist aluminijum ima odličnu korozivnu otpornost, visoku električnu i toplotnu provodljivost, dobru obradivost deformisanjem. Upotrebljava se za folije, limove, različite profile, konzerve, limenke za pakovanje pića, itd.

Familija legura Al-Mn. U ovoj familiji legura glavni legirajući element je mangan. Ove legure su jednofazne i predstavljaju čvrsti rastvor mangana u aluminijumu sa manjom količinom čestica intermetalnog jedinjenja  $Al_6Mn$ . Kako je efekat rastvarajućeg ojačanja veoma mali, zbog ograničene rastvorljivosti legirajućih elemenata u rešetki aluminijuma, ove legure imaju nisku vrednost zatezne čvrstoće. Na primer, legura sa 1,25%Mn u žarenom stanju ima zateznu čvrstoću  $R_m=110 \text{ N/mm}^2$ . Ojačavanje ovih legura moguće je postići deformacionim ojačavanjem i kontrolom veličine metalnog zrna. Legure ove familije vrlo dobro se oblikuju u mekom stanju, pogodne su za zavarivanje i otporne su prema uticaju atmosferilija.

Najviše upotrebljavane legure familije Al-Mn su: AlMn1.00 upotrebljavaju se za izradu delova raznih aparata; u građevinarstvu naročito za izradu krovova; za pribor za vozila; za robu široke potrošnje; za ambalažu u prehrambenoj industriji; za izradu zakovica i dr.. AlMn0,5Mg0,5.00 upotrebljava se za izradu ambalaža u prehrambenoj industriji. AlMn1Mg0,5.00 upotrebljava se u građevinarstvu za fasadne elemente, krovne pokrivače, roletne idr.; u auto-industriji za izradu cisterni; za ambalažu u prehrambenoj industriji. AlMn1Mg1.00 upotrebljava se u građevinarstvu za izradu roletni i drugih proizvoda; za ambalažu u prehrambenoj industriji; za razne vrste pakovanja. AlMn1Cu.00 upotrebljava se u građevinarstvu i za izradu raznih vrsta ambalaža.

Familija legura Al-Mg. U ovoj familiji legura glavni legirajući element je magnezijum.

Mikrostruktura ovih legura na sobnoj temperaturi sastoje se iz dve faze: čvrstog rastvora magnezijuma u rešetki aluminijuma, i tvrdog, krčkog intermetalnog jedinjenja  $Al_3Mg_2$ . Zbog prisustva faze  $Al_3Mg_2$  koja je fino raspoređena, ove legure mogu disperzno da ojačavaju, ali se mogu ojačavati rastvarajućim i deformacionim ojačavanjem, kao i kontrolom veličine metalnog zrna. Legure iz ove familije imaju dobru čvrstoću, koja jako raste sa povećanjem sadržaja magnezijuma. Legure sa 1,8-2,5%Mg u žarenom stanju imaju zateznu čvrstoću  $R_m=200 \text{ N/mm}^2$ , a 75% hladno deformisane  $R_m=250 \text{ N/mm}^2$ , povećanjem sadržaja magnezijuma u leguri na 5,5-6,8%, zatezna čvrstoća raste, u žarenom stanju je  $R_m=250 \text{ N/mm}^2$ , a 75% hladno deformisana legura ima vrednost  $R_m=400 \text{ N/mm}^2$ . Sa povećanjem sadržaja magnezijuma (12-14%) plastičnost se malo smanjuje, da bi se posle naglo smanjivala. Dodavanjem manje količine mangana (0,2-0,8%) čvrstoća ovih legura se povećava jer se obrazuju disperzne čestice  $Al_6Mn$  koje ojačavaju leguru i utiču na smanjenje veličine metalnog zrna. Ove legure imaju dobru otpornost na koroziju u morskoj vodi i morskoj klimi, naročito legure sa niskim i srednjim sadržajem magnezijuma i dobro se zavaruju.

### 4.3.8 MAGNEZIJUM I NJEGOVE LEGURE

Magnezijum, srebrnasto-beli metal male gustine  $1,74 \text{ g/cm}^3$  i niske tačke topljenja  $650^\circ\text{C}$ . Magnezijum kristališe po heksagonalnoj kristalnoj rešetki. Magnezijum veoma brzo korodira u mnogim sredinama, posebno u morskoj vodi, magnetičan je, a pri udarima i trenju

ne varniči. Nasuprot činjenici da se fini prah magnezijuma na vazduhu lako pali, rastopljen tečni magnezijum se može izlivati u kalupe sa nešto malo predostrožnosti.

Mehanička svojstva tehnički čistog magnzijuma (99,92%) zavise od stanja (liveno, deformisano). U livenom stanju konvencionalni napon tečenja  $R_{p0,2}=25 \text{ N/mm}^2$ , zatezna čvrstoća  $R_m=115 \text{ N/mm}^2$ , modul elastičnosti  $E=45000 \text{ N/mm}^2$  i tvrdoća HBS 30. Plastično deformisan magnezijum ima  $R_{p0,2}=90 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_m=200 \text{ N/mm}^2$ , i HBS 40.

Magnezijum ima lošu otpornost na zamor, puzanje i habanje. Mehanizmi ojačavanja imaju relativno mali efekat na magnezijum. Tehnički čist magnezijum upotrebljava se u pirotehnici, hemijskoj industriji i kao legirajući element u raznim legurama neželjeznih metala.

### **- Legure magnezijuma**

Zbog svoje prilično male čvrstoće, tehnički čist magnezijum se legira sa različitim elementima i tako dobija određena specifična svojstva, posebno visoku vrednost specifične čvrstoće  $R_m/\rho$ . Legure magnezijuma imaju dobra livačka svojstva, dobro se obrađuju deformacijom i obradom rezanjem, mogu se zavarivati. Glavni legirajući elementi u legurama magnezijuma su : aluminijum, cink, mangan, cirkonijum, torijum, neke retke zemlje i drugi metali.

Aluminijum i cink obrazuju sa magnezijumom čvrste rastvore i intermetalna jedinjenja  $Mg_4Al_3$  i  $MgZn_2$ , i u količini od 5-7% popravljaju mehanička svojstva magnezijuma.

Mangan sa magnezijumom obrazuje čvrsti rastvor, ne utiče na povećanje mehaničkih svojstava, ali povećava otpornost na koroziju i zavarljivost.

Dodavanjem cirkonija i cerijuma legurama sistema Mg-Zn smanjuje se metalno zrno i povećava čvrstoća i plastičnost. Torijum povećava otpornost na zamor i puzanje, poboljšava livkost i smanjuje poroznost odlivaka. Retke zemlje povećavaju čvrstoću, otpornost na puzanje, popravljaju livačka svojstva i smanjuju osetljivost na prsline naročito kod legura Mg-Zn-Zr.

Termička obrada legura magnezijuma izvodi se sa ciljem ojačavanja legure (kaljenje i starenje), a u cilju uklanjanja neravnotežnih struktura i grešaka u građi koje smanjuju plastičnost. Legura se podvrgava žarenju (homogenizaciono, rekristalizaciono).

Legure magnezijuma mogu se taložno ojačavati (kaljenje i starenje). Zagrevanjem se rastvaraju izdvojene faze ( $MnZn_2$ ,  $Mg_4Al_3$ ,  $Mg_3Al_2Zn_2$  i dr.), a kaljenjem se stvara prezasićen čvrst rastvor. U procesu starenja izdvajaju se ojačavajuće faze. Za dostizanje maksimalnog ojačavanja legure se veštački stare na temperaturi od 175-200°C. Kako legure magnezijuma imaju malu brzinu difuzionih procesa, zbog čega se fazne promene odvijaju lagano, potrebno je duže vremena za zagrevanje (4-24 časa) i duže vreme za veštačko starenje (12-16 časova). Efekat ojačavanja legura magnezijuma je relativno mali, čvrstoća se može povećati za samo 20-35%, dok se plastičnost smanjuje.

Legure magnezijuma na sobnoj temperaturi imaju lošu plastičnost, jer se klizanje izvodi samo po ravnima osnove heksagonalne kristalne rešetke (0001). Zagrevanjem se aktiviraju dodatne ravni klizanja, zbog čega plastičnost legura raste. Prema tome plastična prerada legura magnezijuma izvlačenjem, valjanjem i kovanjem u alatima izvodi se uglavnom na povišenim temperaturama 200-350°C u zavisnosti od sastava. Zbog teksture poluproizvodi legura magnezijuma (šipke, puni profili, ravno valjani proizvodi i otkovci) imaju jako izraženu anizotropiju mehaničkih svojstava.

Legure magnezijuma podeljene su u dve osnovne grupe:

- Legure za plastičnu preradu (izvlačenje, valjanje, kovanje u alatima)
- Legure za livenje.

U grupi legura za livenje i plastičnu preradu ima legura koje se termički obrađuju. Najšira upotreba legura magnezijuma je za izradu komponenti letelica i raketa, za delove

transportnih mašina, za delove ručnih alata (bušilice, brusilice i dr.), za delove bicikala, za sportsku opremu, za delove štamparskih i tekstilnih mašina i generalno za delove gde se zahteva mala masa zbog minimiziranja inercijalnih sila delova koji rade velikim brzinama.

### 4.3.9 BAKAR I NJEGOVE LEGURE

Bakar je metal koji se široko upotrebljava kao čist metal i u kombinaciji sa drugim metalim u obliku legura. Bakar je metal crvenkaste boje. Temperatura topljenja mu je 1083°C. Bakar se kristališe po kubnoj površinski centriranoj rešetki. Ima relativno visoku vrednost gustine 8,94 g/ cm<sup>3</sup>. Bakar ima visoku električnu i toplotnu provodljivost koje zavise od njegove čistoće i stanja. Bakar poseduje dobru otpornost na koroziju u običnim atmosferskim uslovima, slatkoj i morskoj vodi i drugim agresivnim sredinama, ali je neotporan na organske kiseline, amonijak i gasove koji sadrže sumpor. Bakar se dobro obrađuje deformacijom, loše se obrađuje rezanjem i ima loša livačka svojstva (rastopljen lako rastvara gasove, pa odlivci posle očvršćavanja ostaju porozni i ima veliko skupljanje).

Mehanička svojstva tehnički čistog bakra (99,90%) u žarenom stanju: konvencionalni napon tečenja  $R_{p_{0,2}}=33$  N/ mm<sup>2</sup>, zatezna čvrstoća  $R_m=220$  N/ mm<sup>2</sup>. Hladno deformisan bakar znatno popravlja svoja mehanička svojstva uz relativno malo smanjenje provodljivosti: konvencionalni napon tečenja  $R_{p_{0,2}}=310$  N/ mm<sup>2</sup>, zatezna čvrstoća  $R_m=345$  N/ mm<sup>2</sup> i modul elastičnosti bakra  $E=115000$  N/ mm<sup>2</sup>.

Tehnički čist bakar upotrebljava se za oluke, krovne pokrivače, električne provodnike, sabirne vodove, hladnjake automobilskih motora, zaptivače, štamparske valjke, eksere, zakivke i dr. Bakar se dobro legira sa mnogim metalima dajući veliki broj inženjerski korisnih legura.

#### - Legure bakra

Mehanička svojstva i otpornost na koroziju bakra mogu se poboljšati legiranjem. Glavni legirajući elementi u legurama bakra su: cink, kalaj, aluminijum, silicijum, olovo i drugi metali. Za ojačavanje jednofaznih legura bakra koriste se obično rastvarajuće ojačavanje i deformaciono ojačavanje. Kod dvofaznih legura koristi se taložno i disperzno ojačavanje i ojačavanje faznim transformacijama.

Bakar gradi dve osnovne grupe legura mesing- legure bakra sa cinkom i bronz- legure bakra sa drugim metalima (Sn, Al, Be, Pb).

**Legure bakra sa cinkom.** Ove legure su najrasprostranjenije legure bakra sa vrlo raznolikom primenom, zbog toga što imaju: dobru električnu i toplotnu provodljivost, dobra mehanička svojstva, dobru otpornost na koroziju i sposobnost prerade u hladnom i toplom stanju. Legure bakra sa cinkom – mesing mogu biti dvokomponentne i višekomponentne legure. Bakar sa cinkom obrazuje pored osnovne  $\alpha$ -faze i niz drugih faza  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\epsilon$ . Bakar sa cinkom najpre gradi  $\alpha$ -fazu, koja predstavlja čvrsti rastvor cinka u bakru, i koja je stabilna do sadržaja od 35% Zn, i ima KPC rešetku. Ovaj jednofazni  $\alpha$ - mesing je relativno mek, plastičan i lako se obrađuje obradom deformisanjem u hladnom i toplom stanju. Povećanjem sadržaja cinka u leguri (preko 35% Zn) pojavljuje se u strukturi, na sobnoj temperaturi, pored  $\alpha$ -faze i  $\beta'$ -faza.  $\beta'$ -faza predstavlja čvrsti rastvor na bazi jedinjenja CuZn sa KZC rešetkom i ima veću tvrdoću i čvrstoću u odnosu na  $\alpha$ -fazu. Pojavom  $\beta'$ -faze u strukturi ove dvofazne  $\alpha + \beta'$  legure, plastičnost opada, a čvrstoća raste sve do sadržaja od 45% Zn. Zbog male plastičnosti u hladnom stanju, dvofazni  $\alpha + \beta'$  mesing obrađuje se deformacijom u toplom stanju, i to na temperaturama iznad 456°C, tj. u oblasti  $\beta$  ili  $\alpha + \beta$ -faze. Dvokomponentalne legure sistema Cu-Zn mogu sadržati i manje količine Al, Fe, Ni, Sn, Mn, Pb i drugih elemenata. Legirani

dvokomponentalni mesing naziva se specijalni mesing ili višekomponentni mesing. Specijalni mesing ima veću čvrstoću, tvrdoću, otpornost na koroziju, otpornost na habanje i dobru obradivost rezanjem. Dobro se oblikuje u toplom stanju, a neke legure i u hladnom stanju. Dobro se tvrdo lemi. Specijalni mesing ima obično dvofaznu strukturu  $\alpha + \beta'$ . Dodavanjem dovoljne količine nikla povećava se rastvorljivost cinka u bakru čime se smanjuje  $\beta'$ -faza i dvofazni  $\alpha + \beta'$  mesing prelazi u jednofazni  $\alpha$ -mesing. Prema načinu prerade mesinge delimo na:

- Mesinge za plastičnu preradu i
- mesinge za livenje.

**Legure bakra sa kalajem.** Ove legure bakra nazivaju se kalajne bronzе i sadrže do 13% kalaja. U strukturi kalajne bronzе nalazi se  $\alpha$ -faza – čvrsti rastvor kalaja u bakru sa površinski centriranom kubnom rešetkom.

U strukturi ovog sistema u procesu očvršćavanja obrazuju se i elektronska jedinjenja tipa :  $\beta$ -faza (Cu-Sn odnos 3/2),  $\delta$ -faza ( $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  – odnos 21/13),  $\epsilon$ -faza ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$  – odnos 7/4) i  $\gamma$ -faza-čvrsti rastvor na bazi hemijskog jedinjenja.

Veliki broj kalajnih bronzі sadrži do 7%Sn i obično imaju jednofaznu strukturu koja se sastoji iz  $\alpha$ -čvrstog rastvora. Sa porastom kalaja u leguri do 13%Sn struktura postaje dvofazna, pored  $\alpha$ -čvrstog rastvora prisutan je i eutektoid ( $\alpha + \beta$ ). U cilju popravljivanja mehaničkih svojstava, tehnoloških svojstava, otpornosti na habanje i koroziju, kalajne bronzе mogu se dodatno legirati sa Zn, Fe, P, Pb, Ni i drugim metalima.

**Legure bakra sa aluminijumom.** Legure bakra sa aluminijumom nazivaju se aluminijumske bronzе. Aluminijumske bronzе koje se upotrebljavaju u inženjerskoj praksi su dvokomponentne i višekomponentne. Višekomponentne aluminijumske bronzе su dodatno legirane sa gvožđem, manganom i niklom u različitim kombinacijama. Aluminijumske bronzе odlikuju se visokom čvrstoćom, posebno na povišenim temperaturama. Imaju visoku dinamičku čvrstoću.

Otporne su prema koroziji, kiselim sredinama i morskoj vodi. Otporne su na visokim temperaturama i prema eroziji.

### 4.3.10 TERMIČKA OBRADA ČELIKA

Svojstva i ponašanje metala i legura u proizvodnim procesima i u toku eksploatacije zavise od sastava, strukture, načina prerade i termičke obrade kojoj mogu biti podvrgnuti. Važna mehanička svojstva kao što su zatezna čvrstoća, napon tečenja, tvrdoća, žilavost i plastičnost mogu se poboljšati, kao što smo videli, promenom hemijskog sastava – legiranjem, promenom veličine metalnog zrna, ali na njih se može uticati i promenom strukture i stvaranjem novih faza u procesima termičke obrade.

Termičkom obradom nazivaju se procesi koji se sastoje od zagrevanja do kritičnih temperatura, držanjem na tim temperaturama određeno vreme, a zatim hlađenje određenim načinom i brzinom.

Jedan od najrasprostranjenijih primera poboljšanja svojstava je termička obrada čelika. Promena strukture i stvaranje novih faza u procesu termičke obrade čelika događa se u čvrstom stanju, a bazira se na: svojstvu polimorfije železa, na promeni rastvorljivosti ugljenika i legirajućih elemenata u rešetki železa i na sposobnosti atoma da se difuzno sele na povišenim temperaturama.



#### 4.3.10.1 Kaljenje

Kaljenje je proces kojim se čelik zagreva do temperatura nešto iznad kritične, a zatim hladi brzinom većom od kritične u cilju dobijanja martenzitne strukture, a time visoke tvrdoće i otpornosti na habanje. Uspešno izvođenje kaljenja čelika i dobijanje pretežno martenzitne strukture po celom poprečnom preseku dela zavisi od više faktora: temperature zagrevanja, vremena zagrevanja, sredine u kojoj se izvodi zagrevanje, brzine hlađenja i prokaljivosti.

**Izbor temperature zagrevanja.** Temperatura zagrevanja zavisi od sadržaja ugljenika u čeliku, kako je to prikazano na delu dijagrama stanja Fe-Fe<sub>3</sub>C (sl.4.3b). Padeutektoidni čelik zagreva se na temperaturu 30-50°C iznad tačke A<sub>C3</sub>. Zagrevanjem početna feritno- perlitna struktura prevodi se u austenit, koji se kasnije hladi brzinom većom od kritične i koji se transformiše u martenzit.

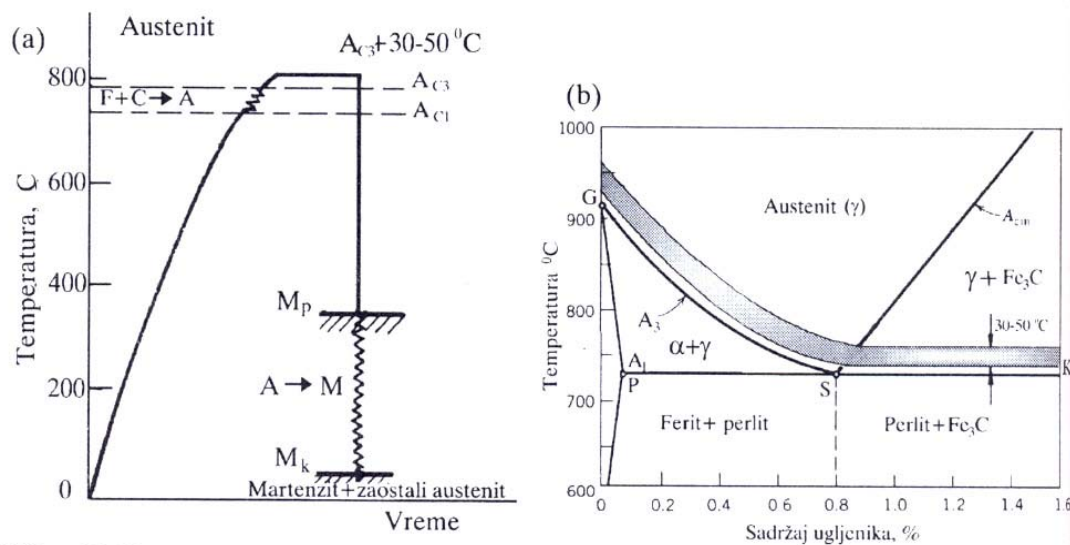
U slučaju izbora nedovoljne temperature, niže od tačke A<sub>C3</sub> a više od A<sub>C1</sub>, tj. u intervalu A<sub>C1</sub>-A<sub>C3</sub>, ostaje jedan deo ferita nepreveden u austenit. Posle hlađenja u strukturi kaljenog čelika pored martenzita pojavljuje se i ferit. Prisustvo ferita u strukturi smanjuje tvrdoću čelika posle kaljenja.

Zagrevanje čelika znatno iznad tačke A<sub>C3</sub> dovodi do porasta metalnog zrna austenita, a posle hlađenja dobija se struktura koja se sastoji od veoma krtoeg krupno-igličastog martenzita i zaostalog austenita. Nadeutektoidni čelika zagreva se do temperature 30-50°C iznad tačke A<sub>C1</sub>. Ovim zagrevanjem celokupan perlit i vrlo mala količina sekundarnog cementita se prevodi u austenit.

Na temperaturi kaljenja struktura čelika se sastoji od austenita i cementita. Hlađenjem brzinom većom od kritične austenit se transformiše u martenzit. Struktura kaljenog nadeutektoidnog čelika sastoji se iz martenzita po kome su rasuta sitna zrna cementita. Ova struktura obezbeđuje visoku tvrdoću i otpornost na habanje. Ukoliko su zrna cementita sitnija i pravilnije raspoređena, postiže se veća tvrdoća. Ovo je razlog što se pre kaljenja nadeutektoidnih čelika, kovanjem i normalizacijom uklanja cementitna mreža.

Zagrevanjem do temperatura iznad tačke A<sub>cm</sub> nema uticaja na povećanje tvrdoće. Posle hlađenja dobija se krupno-igličasta struktura martenzita bez cementita i sa povećanom količinom zaostalog austenita, što utiče na smanjenje tvrdoće.

Za neke legirane čelike temperatura zagrevanja određena je položajem tačaka A<sub>C1</sub> i A<sub>C3</sub>, ali je znatno viša, što je uslovljeno malom brzinom i stepenom rastvaranja karbida legirajućih elemenata u austenitu. Na primer: kod čelika visoko legiranih hromom (11-14% Cr) za rastvaranje karbida tipa M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, potrebna temperatura zagrevanja je 150-250°C iznad tačke A<sub>C3</sub>. Ovo povećanje temperature zagrevanja u mnogim slučajevima ne prouzrokuje primetno povećanje veličine metalnog zrna austenita jer nerastvorne čestice karbida sprečavaju rast zrna.



**Slika 4.3:** a) Šematski prikaz kaljenja čelika; b) temperaturna područja zagrevanja čelika

Niže temperature zagrevanja čelika legiranih karbidoobrazujućim elementima (hrom, volfram, molibden, titan i silicijum) obrazuju niskolegirani i manje stabilni austenit pri hlađenju. Ubrzano razlaganje austenita povećava kritičnu brzinu hlađenja, smanjuje prokaljivost, povećava temperature martenzitne transformacije  $M_p$  i  $M_k$  i smanjuje tvrdoću martenzita.

Korišćenje viših temperatura zagrevanja dovodi do potpunog rastvaranja karbida, rasta veličine metalnog zrna i homogenizacije austenita. Ovo doprinosi stabilnosti pothlađenog austenita posebno u oblasti perlitne transformacije, smanjivanju kritične brzine hlađenja i povećanju prokaljivosti. Međutim, prekomerno povećavanje temperature zagrevanja u strukturi kaljenog legiranog čelika povećava količinu zaostalog austenita, što ima za posledicu smanjenje tvrdoće, čvrstoće, toplotne provodljivosti i obradivosti čelika brušenjem.

**Potrebno vreme zagrevanja.** Vreme zagrevanja mora biti dovoljno dugo da bi se obezbedilo postizanje potrebne temperature po celom poprečnom preseku dela, kao i završetak svih faznih transformacija, a ne sme biti ni suviše dugo jer može izazvati porast austenitnog zrna i razugljenisanje površinskog sloja.

Ukupno vreme zagrevanja  $\tau_u$ , tj. vreme držanja delova u peći sastoji se iz zbira dva vremena, odnosno  $\tau_u = \tau_z + \tau_p$ , gde je  $\tau_z$  vreme zagrevanja do potrebne temperature, a  $\tau_p$  vreme držanja na toj temperaturi.

Vreme zagrevanja do zadane temperature zavisi od: temperature zagrevanja, sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata, veličine i oblika delova, načina smeštanja delova u peći, vrste peći i drugih faktora. Veće brzine zagrevanja izbegavati zbog pojave značajnih unutrašnjih napona koji mogu prouzrokovati deformacije i pojave prslina.

Pri postizanju temperature zagrevanja potrebno je delove držati na toj temperaturi određeno vreme, koje mora biti minimalno, ali dovoljno da obezbedi završetak faznih transformacija i postigne dovoljnu koncentraciju ugljenika i legirajućih elemenata u austenitu. Vreme držanja na konstantnoj temperaturi zavisi, kao i vreme zagrevanja, od mnogih faktora koji utiču na proces rastvaranja i faznih transformacija u čeliku.

Potrebno vreme zagrevanja, uključujući i vreme držanja na konstantnoj temperaturi za delove okruglog poprečnog preseka od ugljeničnih čelika, može se izračunati po sledećim preporukama: u plamenim pećima – 1 minut po 1mm poprečnog preseka, u sonim kadama –

0,5 minuta po 1mm poprečnog preseka. Ukupno vreme zagrevanja delova izrađenih od legiranih čelika uvećati za 25-50%.

**Sredstva za hlađenje.** Brzina hlađenja čelika, sa temperature kaljenja, ima veliki uticaj za postizanje željenih struktura, kao i na konačan rezultat kaljenja. Pravilan izbor sredstva za hlađenje mora da obezbedi željenu strukturu po celom poprečnom preseku, bez pojava većih unutrašnjih napona, prslina i deformacija.

Najveća brzina hlađenja (veća od kritične) najpoželjnija je u temperaturnom intervalu A1 do Mp da bi se sprečilo razlaganje pothlađenog austenita u oblasti perlitne i međufazne transformacije, dok u oblasti martenzitne transformacije, tj. u temperaturnom intervalu Mp i Mk, brzina hlađenja mora biti smanjena. Velika brzina hlađenja u temperaturnom intervalu martenzitne transformacije je nepoželjna, jer može dovesti do većih unutrašnjih napona i pojava prslina. Međutim, smanjena brzina hlađenja u intervalu Mp-Mk može prozrokovati delimično otpuštanje martenzita i povećati količinu zaostalog austenita, što utiče na smanjenje tvrdoće.

Izbor sredstva za hlađenje vrši se u zavisnosti od hemijskog sastava, željene strukture, dimenzija i oblika dela. Kao sredstva za hlađenje najčešće se koriste: mirna ili tekuća voda, slana voda, vodeni rastvori soli i baza, mineralna ulja, rastopljene soli i vazduh. Zbog različite toplotne provodljivosti, specifične toplote i toplote isparavanja ovih sredstava za hlađenje razlikuju se i njihove brzine hlađenja (sposobnost hlađenja). Relativni odnos sposobnosti hlađenja nekih sredstava za hlađenje je: uzburkana slana voda (5), uzburkana voda (4), mirna voda (1), mirna ulja (0,3), miran vazduh (0,02). Uzburkanost sredstva za hlađenje ima značajan uticaj na brzinu hlađenja, što je uzburkanost sredstva za hlađenje jača, utoliko je brzina hlađenja veća.

Za hlađenje ugljeničnih i niskolegiranih čelika uobičajeno sredstvo je voda i slana voda. Korišćenjem vode i vodenih rastvora u toku procesa hlađenja menja se sposobnost hlađenja. Ako zagrejani metal uronimo u sredstvo za hlađenje-vodu, na površini metala se stvara plašt od vodenih parnih mehura, zbog ključanja vode na površini metala. Ovako formiran plašt predstavlja barijeru koja slabo provodi toplotu i ometa hlađenje. Uzburkavanjem sredstva za hlađenje ili intenzivnim kretanjem dela u sredstvu, smanjuje se ili potpuno odstranjuje uticaj plašta pare. U cilju efikasnijeg hlađenja, delovi koji se hlade mogu se tuširati vodom pod pritiskom. Slana voda, kao sredstvo za hlađenje, ima veću sposobnost hlađenja jer so pomaže stvaranje mehura na površini dela čime se pojačava uzburkanost.

Za hlađenje legiranih čelika upotrebljavaju se mineralna ulja koja imaju znatno manju brzinu hlađenja u odnosu na vodu. Prednost ulja kao sredstva za hlađenje je u tome što: imaju višu temperaturu isparavanja (250-300°C); manju brzinu hlađenja u temperaturnom intervalu martenzitne transformacije, pa je smanjena mogućnost stvaranja prslina; ne menjaju sposobnost hlađenja sa promenom temperature ulja u širokom intervalu 20-150°C.

### 4.3.10.2 Otpuštanje

Termička obrada kojom se kaljeni čelik zagreva do temperatura nižih od tačke  $A_{C1}$ , drži na toj temperaturi određeno vreme a zatim sporo hladi, i pri tom prouzrokuje transformaciju nestabilne strukture kaljenog čelika u stabilniju strukturu naziva se otpuštanje.

Otpuštanje ima za cilj smanjenje ili potpuno uklanjanje unutrašnjih napona, smanjivanje krutosti kaljenog čelika i dobijanje željenih struktura i mehaničkih svojstava. Razlikujemo tri vrste u zavisnosti od temperature otpuštanja: *nisko, srednje i visoko*.

**Nisko otpuštanje.** Postupak se sastoji u zagrevanju do temperature od 250°C u trajanju 1 do 2,5 časa i laganim hladjenjem pri čemu dolazi do smanjenja unutrašnjih napona, povećanja čvrstoće i neznatno žilavosti bez bitnijeg smanjenja tvrdoće. Kaljeni čelik posle niskog

otpuštanja ima tvrdoću HRc 58-63. Niskom otpuštanju podvrgavaju se alati za rezanje i merni instrumenti izradjeni od ugljeničnih i niskolegiranih čelika.

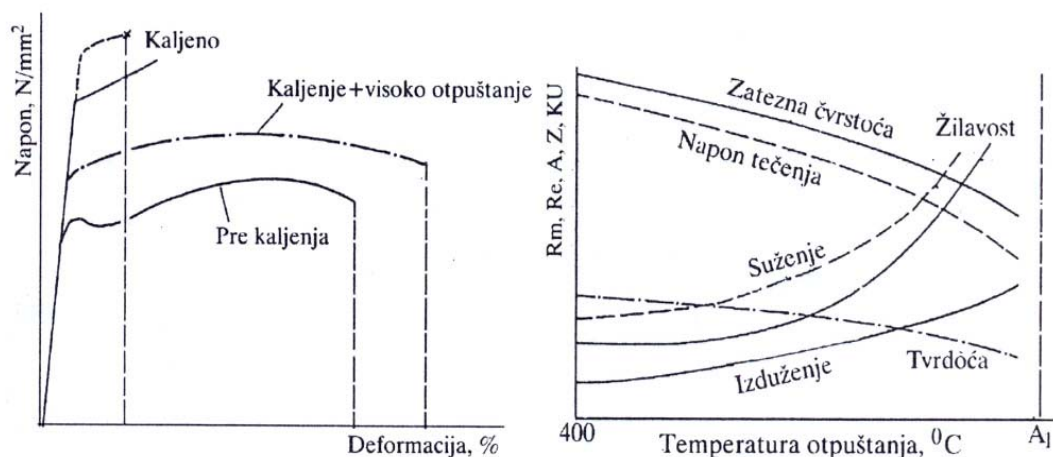
**Srednje otpuštanje.** Podrazumeva zagrevanje do temperatura od 350-500°C i držanjem na njima određeno vreme, pri čemu veliki deo ugljenika biva istisnut iz rešetke martenzita. Ovim se smanjuje tvrdoća na HRc 40-50, a povećava se granica elastičnosti i žilavost.

**Visoko otpuštanje.** Zagrevanjem do temperature od 500-680°C i držanjem 1 do 6 časova na toj temperaturi, dolazi do ukрупnjavanja cementitnih lamela unutar čelika koji se ovaj način termički obrađuje. Visokim otpuštanjem postiže se najbolji odnos između čvrstoće i žilavosti.

#### 4.3.10.3 Poboljšanje

Poboljšanje predstavlja kombinovani postupak koji se sastoji od kaljenja i visokog otpuštanja, ima za cilj postizanje visoke vrednosti napona tečenja i visoke vrednosti žilavosti. Postupak nalazi najširu primenu kod konstrukcionih ugljeničnih (0,3-0,6%C), nisko i srednje legiranih čelika. Ova termička obrada je veoma značajna jer se često koristi kod delova koji su najodgovorniji kod mašina (osovine, vratila, zupčanici, zavrtnji i sl.).

Posle poboljšanja čelik ima veću vrednost napona tečenja i veće izduženje nego pre kaljenja. (slika 4.4). Takođe, povećava se vrednost žilavosti u odnosu na stanje pre poboljšanja, a pogotovo u odnosu na stanje posle kaljenja.



**Slika 4.4:** (a) Dijagram napon-izduženje, pre kaljenja, posle kaljenja i poboljšanja.  
(b) Promena mehaničkih svojstava u zavisnosti od temperature otpuštanja

Termičkom obradom poboljšanja povećava se čvrstoća, postiže se najbolji odnos između čvrstoće i žilavosti, umanjuje se osetljivost na koncentraciju napona, i potrebna je veća energija za razvoj prsline. Međutim, otpornost na habanje usled smanjenje tvrdoće nije velika.

#### 4.3.11 TERMIČKA OBRADA LIVENIH GVOŽĐA

Termička obrada livenih gvožđa izvodi se radi smanjenja unutrašnjih napona, kao i popravljivanja mehaničkih svojstava i otpornosti na habanje. Zbog toga se odlivci livenih

gvožđa podvrgavaju: žarenju u cilju otklanjanja unutrašnjih napona; normalizaciji i kaljenju sa otpuštanjem.

**Žarenje u cilju otklanjanja unutrašnjih napona.** Odlivci od sivog livenog gvožđa i nodularnog liva, zagrevaju se do temperatura 500-650°C, drže na toj temperaturi 3-10 časova u zavisnosti od dimenzija odlivaka, a zatim sledi sporo hlađenje u peći. Posle ovog žarenja mehanička svojstva se ne menjaju, ali unutrašnji naponi se umanjuju za 80-90%.

**Normalizacija.** Povećanje mehaničkih svojstava i otpornosti na habanje livenih gvožđa postiže se dobijanjem perlitne strukture metalne mase. Odlivci sivog livenog gvožđa i nodularnog liva, feritne ili feritno-perlitne strukture metalne mase, zagrevaju se do temperature 850-950°C sa ciljem povećavanja količine vezanog ugljenika, odnosno rastvaranja dela grafita u austenitu. Posle sporog hlađenja umesto feritne ili feritno-perlitne strukture dobija se perlitna struktura odlivaka, povećava se tvrdoća i otpornost na habanje.

**Kaljenje sa otpuštanjem.** U cilju povećanja čvrstoće, tvrdoće i otpornosti na habanje, odlivci sivog livenog gvožđa, nodularnog liva i temper livenih gvožđa, zagrevaju se do temperatura 850-930°C, drže na toj temperaturi 0,5-3 časa radi progrevanja i povećanja procenta ugljenika rastvorenog u austenitu. Hlađenjem u vodi ili ulju dobija se struktura martenzit+grafit, tvrdoće HRc 55-60. Posle kaljenja delovi koji su u toku rada izloženi habanju, otpuštaju se na temperaturi 250-300°C, a ostali delovi na temperaturi 400-600°C. Odlivci livenih gvožđa mogu se i površinski kaliti.

### 4.3.12 TERMOHEMIJSKE OBRADE

Termohemijskom obradom čelika naziva se termička obrada koja se izvodi kao kombinacija termičkog i hemijskog dejstva sa ciljem da se izmeni sastav, struktura i svojstva površinskog sloja. Neke od termohemijskih obrada koje se dosta često primenjuju kao što su: cementacija, nitiranje i bromiranje biće detaljnije objašnjene.

#### 4.3.12.1 Cementacija

Cementacija je termohemijski proces u kojem se površinski slojevi čelika obogaćuju ugljenikom. Konačna svojstva cementirani delovi dobijaju tek posle kaljenja i niskog otpuštanja. Cilj cementacije je da se dobije visoka tvrdoća površinskog sloja (HRc 55-65) a time i visoka otpornost na habanje. Cementaciji se podvrgavaju niskougljenični čelici sa sadržajem do 0,2%C i legirani čelici sa 0,08-0,2%C. U procesu cementacije delovi se zagrevaju u sredini bogatoj ugljenikom i sposobnoj da na temperaturi cementacije oslobodi ugljenik u atomskom stanju. Cementacija se obavlja na temperaturama od 930-950°C, kada austenit može da rastvori najveći procenat ugljenika (do 2%C).

Dubina cementiranog sloja zavisi od: vremena i temperature, a u manjoj meri i od hemijskog sastava, kao i od aktivnosti sredstva za cementaciju. Dubina cementiranog sloja može biti od 0,5-1,5mm, izuzetno i do 10mm. Sadržaj ugljenika u cementiranom sloju je 0,9-1%C. Delovi koji se podvrgavaju procesu cementacije moraju se pripremiti. Priprema obuhvata čišćenje i odmašćivanje površina, kao i zaštitu površina koje se ne cementiraju. Površine koje se ne cementiraju prevlače se bakrom, niklom ili premazima na bazi mešavine azbesta, gline, talka i tečnog stakla.

#### 4.3.12.2 Nitiranje

Nitiranje je termohemijski proces u kojem se površinski sloj čelika difuzijom obogaćuje atomima azota, u cilju povećanja tvrdoće, otpornosti na habanje, otpornosti na koroziju kao i povećanja dinamičke čvrstoće. U tom cilju čelici se zagrevaju u sredini sposobnoj da na temperaturi nitiranja 500-520°C oslobode atome azota koji difuzijom ulaze u površinski sloj metala i gde se manji deo (0,015%) rastvaraju u rešetki  $\alpha$ -Fe, a većim delom grade sa železom i drugim elementima (Al, Cr, Mo, V i dr.) tvrde i sitnozrne nitride (FeN, Fe<sub>4</sub>N, AlN, CrN, Cr<sub>2</sub>N, MoN, Mo<sub>2</sub>N, V<sub>2</sub>N i dr.).

U zavisnosti od agregatnog stanja sredstva za nitiranje razlikuje se: nitiranje u gasovitoj sredini (NH<sub>3</sub>), nitiranje u tečnoj sredini i jonsko nitiranje.

**Jonsko nitiranje.** Ovaj postupak nitiranja ima najširu primenu i daje najbolja svojstva površinskog sloja. Postupak se ostvaruje u komori sa razređenim gasom koji sadrži azot (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>) kada je deo koji se nitira, priključen na negativnu elektrodu – katodu, a anoda je zid komore uređaja za jonsko nitiranje. Između katode i anode uspostavlja se tinjajuće pražnjenje. Pozitivni joni gasa bombarduju površinu katode i zagrevaju je do potrebnih temperatura. Proces jonskog nitiranja obavlja se u tri faze: u prvoj fazi u trajanju od 50-60min, pri niskom pritisku 0,1-0,5mbara i naponu od 1100-1400 V u atmosferi vodonika obavlja se proces čišćenja površine dela od oksidnog sloja raspršivanjem; druga faza – glavni deo postupka počinje povećanjem pritiska u komori na 1-13 mbara i zagrevanjem dela do potrebne temperature nitiranja 470-580°C u odgovarajućoj smeši gasova. U toku ove faze u površinski sloj difunduju atomi azota. Difuzioni sloj predstavlja čvrsti rastvor azota u  $\alpha$ -Fe i nitrida koje azot gradi sa prisutnim elementima (Al, Cr, Mo, V); treća faza postupka jonskog nitiranja je hlađenje delova koje se obavlja u vakuumu. Celokupan proces jonskog nitiranja traje 1-24 h. Posle jonskog nitiranja površine delova se čiste i nije potrebna nikakva naknadna obrada.

Jonskim nitiranjem mogu se obrađivati čelici i livena gvožđa. Nelegirani čelici i livena gvožđa imaju relativno malu tvrdoću difuzionog sloja HV<sub>0,3</sub> 350-550, dok visoko legirani čelici za nitiranje, alatni i nerđajući čelici postižu tvrdoću od HV<sub>0,3</sub> 1000.

*Priprema delova.* Delovi se obrađuju na tačnu meru, a postupkom termičke obrade poboljšanjem, dovode se na željenu strukturu i mehanička svojstva koja najbolje odgovaraju uslovima eksploatacije. Pre procesa nitiranja delovi se čiste i odmašćuju, a površine koje se ne žele nitrirati pokrivaju se tankim slojem kalaja.

#### 4.3.12.3 Hromiranje

Hromiranje je termohemijski proces difuzionog obogaćivanja površinskog sloja čelika hromom zagrevanjem u odgovarajućoj sredini. Ovaj proces obezbeđuje površinskom sloju čelika visoku tvrdoću, otpornost na habanje, toplotnu postojanost i otpornost na koroziju u sredini kao što su morska voda i azotna kiselina.

Hromiranje se izvodi u čvrstoj, gasovitoj i tečnoj sredini. Hromiranjem u čvrstoj sredini delovi se zagrevaju u smeši praškova (50% fero-hroma + 49% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 1% NH<sub>4</sub>Cl); u gasovitoj sredini se zagrevaju u atmosferi CrCl<sub>2</sub>; u tečnoj sredini delovi se zagrevaju u rastopljenim solima (BaCl<sub>2</sub> + NaCl + 10-15%CrCl<sub>2</sub>). Temperatura procesa hromiranja je od 100-1050°C u trajanju od nekoliko časova.

Struktura hromiranog sloja sastoji se iz karbida hroma (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ili (Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, i sloja ispod njega sa visokim sadržajem ugljenika (0,8%C). Tvrdoća hromiranog sloja kod

niskougljenicnih čelika je HV 250-300, a kod srednje i visokolegiranih čelika je HV 1200-1300. Dubina hromiranog sloja iznosi 0,15-0,2 mm.

### 4.3.13 KOROZIJA METALA

Korozijom se naziva proces razaranja metala usled hemijskog ili elektrohemijskog uzajamnog dejstva sa okolnom sredinom. Kao rezultat dejstva spoljne sredine neka svojstva metala naglo se smanjuju, čak i bez vidljivih promena na njegovoj površini.

Korozija metala nanosi velike gubitke koji mogu biti toliko veliki da imaju i ekonomski značaj. Ukupni gubici od korozije metala dostižu u industrijski razvijenim zemljama 4-5% nacionalnog dohotka. Korozija prozrokuje značajne gubitke u hemijskoj i procesnoj industriji gde dejstvuje agresivna sredina na metale.

Agresivnom sredinom smatraju se neorganske i organske kiseline, rastvorene soli i drugi agresivni produkti kao što su gasovi i pare (sumpor, oksidi azota, hlor i dr.), koji stalno ili povremeno dejstvuju na opremu u eksploataciji na sobnoj ili povišenoj temperaturi.

Prema tome, izučavanje korozije i njenog sprečavanja je veoma važan zadatak.

#### **- Osnovni pojmovi o koroziji metala**

Korozija započinje na graničnoj površini dve faze metal – spoljna sredina i vremenom prodiru u dubinu metala. Javlja se kao posledica fizičko – hemijskih procesa pri dodiru metala i agresivne sredine (metal – voda, metal- kiselina, metal – vazduh, metal – zemlja, itd), pri dodiru raznorodnih metala i na dodirnoj površini dva metalna zrna sa različitim sastavom ili različitim naponskim stanjem.

Prema karakteru fizičko-hemijskih procesa do kojih dolazi pri dodiru metala i okolne sredine, razlikuju se dva vida korozije:

- Hemijska i
- Elektrohemijska korozija.

Ovde će biti govora samo o hemijskoj koroziji.

#### **- Hemijska korozija**

Hemijska korozija nastaje dejstvom suvih gasova ili para na površinu metala (kiseonik, para sumpora, sumporvodonika, hlora, hlorovodnika, azotnih oksida, vodonika i dr.) kao i dejstvom nevodjenih tečnosti (benzin, benzol, nafta i dr).

Proces hemijske korozije podređen je osnovnim zakonima hemijske reakcije. Najveći praktičan značaj ima hemijska korozija koja se dešava u dodiru metalnih površina delova mašina i uređaja sa gasnom fazom na povišenim temperaturama i naziva se gasna korozija.

Gasna korozija u mašinskoj tehnici se događa kod ventila motora sa unutrašnjim sagorevanjem, gasovoda, kotlova, turbina, itd. Produkti hemijske korozije obično su oksidi metala, a pri dodiru metala sa gasovima koji sadrže sumpor, metalni sulfidi.

Specifičnost hemijske korozije je obrazovanje i vezivanje produkata korozije na metalnim površinama koje su bile u hemijskoj reakciji. Debljina obrazovanog sloja može da bude veoma mala, manja od 40nm, pa do debljina od 500nm. Dalji rast sloja produkata korozije zavisi samo od mogućnosti prodiranja korozivne sredine kroz metal. Ako produkti korozije na površini metala načine kompaktan sloj, tada sloj deluje zaštitno i usporava ili zaustavlja dalju koroziju. Aluminijum, hrom i cink su primeri gde sloj produkata korozije štiti površinu metala od dalje korozije.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Da li će obrazovani sloj produkata korozije biti kompaktan, a samim tim i zaštititi metal od dalje oksidacije, zavisi od odnosa obrazovane zapremine oksida prema zapremini utrošenog metala u oksidaciji. Ovaj odnos zapremina naziva se Piling-Bedworth-ov (Pilling-Bedworth) odnos

$$P.B. = A_o \rho_m / (A_m \rho_o)$$

gde je:  $A_o$ - molekularna masa oksida,  $A_m$ - atomska masa metala,  $\rho_o$  – gustina oksida,  $\rho_m$ -gustina metala.

Kod metala koji imaju P.B. odnos manji od 1, obrazovani sloj produkata korozije teži da bude porozan i kao takav ne štiti metal ispod sebe. Ako je odnos 1 i nešto veći od 1, sloj produkata korozije je kompaktan, i ako su zadovoljeni i drugi dodatni uslovi sloj će štititi metal ispod sebe od dalje korozije. Odnos P.B. veći od 2-3, ukazuje na pojavu pritiskih napona u sloju koji se formira, pa sloj produkata korozije puca i drobi se, stalno izlažući nove nezaštićene površine metala procesu korozije.

Pored uslova da sloj bude kompaktan, moraju biti zadovoljeni uslovi fizičko-hemijske stabilnosti: da sloj bude nerastvorljiv u okolini; da se pri datim uslovima ne topi ili ne sublimira; da ne stvara sa okolnim medijumom eutektičke smeše i da ne prelazi u drugu polimorfnu modifikaciju; da temperatura topljenja produkta korozije bude viša od temperature topljenja metala.

Ako su stvoreni kompaktni slojevi produkta korozije osetljivi na spoljne uticaje, oni gube svoju zaštitnu funkciju. To su, na primer, slojevi koji slabo prijanjaju na metal tako da ih i najmanje opterećenje može oštetiti. Da bi se ostvarilo dobro prijanjanje, potrebno je da koeficijenti linearnog širenja metala i produkta korozije budu slični, jer pri većim temperaturama mogu izazvati pojavu mikropora, pucanje i ljuštenja sloja produkta korozije. Važan uticaj na brzinu gasne korozije ima temperatura. Sa porastom temperature ubrzava se hemijska korozija. Brzina korozije zavisi i od hrapavosti površine, deformacionog ojačavanja metala i od brzine kretanja agresivne sredine.

Ugljenični čelici u dodiru sa vodenom parom i vodonikom na povišenim temperaturama (200-400°C) i povišenom pritisku (do 30MPa) brzo korodiraju. Ovaj vid korozije naziva se vodonična korozija.

Na visokim temperaturama vodena para disocira na kiseonik i vodonik. Kiseonik oksidiše površinu metala, a na višim temperaturama i granice metalnih zrna. Vodonik difunduje u metal gde sa kiseonikom iz oksida stvara molekule pare, a sa ugljenikom ugljovodonike. Molekuli vodene pare i ugljovodonika smeštaju se na granice metalnih zrna, a s obzirom da imaju veće dimenzije, izazivaju velike pritiske na okolni materijal što jako smanjuje čvrstoću i udarnu žilavost.

Na uticaj vodonika osetljivi su i bakar i njegove legure. Oksidi bakra  $Cu_2O$ , koji se redovno u izvesnoj količini nalaze u bakru, u dodiru sa vodonikom koji na povišenim temperaturama (650-800°C) difuzijom ulazi u bakar razlažu se i sa kiseonikom grade molekule vode. Obrazovani molekuli vodene pare smeštaju se na granice metalnih zrna, gde izazivaju velika lokalna naponska stanja koja mogu razoriti materijal. Ovaj fenomen koji se pojavljuje kod bakra naziva se *vodonična bolest*.

### **- Zaštita od korozije**

Potpuna zaštita metala i legura od korozije je skoro nemoguća, ali izvesne mere se mogu preduzeti da se problem minimizira.



Zaštita metala i legura od korozije može se ostvariti korišćenjem većeg broja različitih metoda koje uključuju: izbor materijala, konstruktivna rešenja, zaštitne prevlake, inhibitore, katodnu zaštitu i pasivizaciju.

**Izbor materijala.** Jedan od uobičajenih i najlakših načina zaštite metala i legura od korozije jeste pravilan izbor materijala za izradu delova konstrukcija koje su u toku eksploatacije izložene dejstvu agresivne sredine. Za izbor materijala mogu korisno poslužiti preporuke o korozionoj otpornosti materijala u određenim agresivnim sredinama (katalozi proizvođača i priručnici). Pri izboru materijala i cena može biti jedan od značajnijih faktora. Nije uvek ekonomski opravdano upotrebiti materijal koji ima optimalnu otpornost na koroziju. Ponekad je korisnije izabrati drugi materijal i neku metodu zaštite.

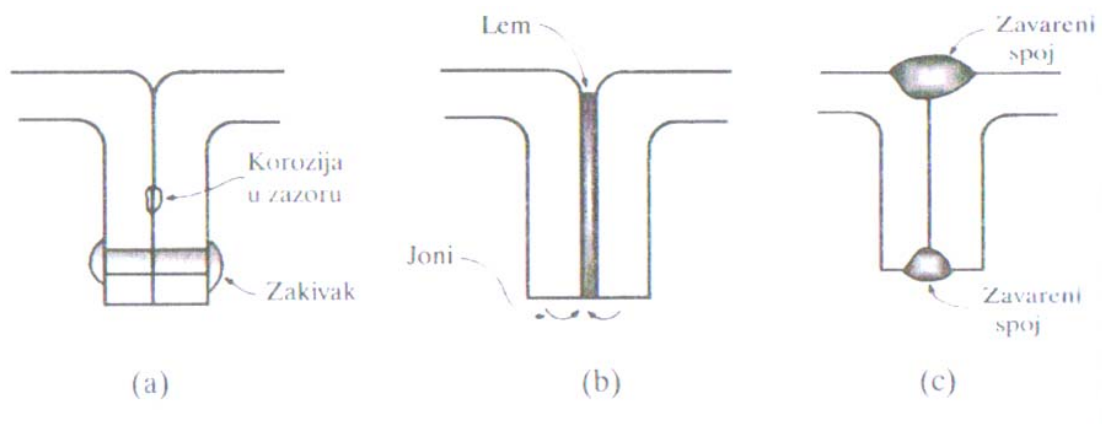
**Konstruktivne metode.** Pri konstruisanju delova konstrukcije najvažnije je sprečiti formiranje galvanskog elementa. Dva različita metala ne smeju biti u direktnom dodiru na mestima koja su izložena agresivnoj sredini jer se formira galvanski element i pojavljuje korozija. U takvim slučajevima delove izrađene od metala sa različitim električnim potencijalima potrebno je na mestima dodira razdvojiti nemetalnim materijalima otpornim na koroziju, kao što su zaptivači i podmetači, da bi se sprečio električni kontakt među njima.

Pri konstruisanju treba izbegavati velike napone i izvore koncentracije napona na delovima koji su u eksploataciji izloženi agresivnoj sredini, da bi se sprečila pojava prslina usled naponske korozije. Ovo je veoma važno pri izboru materijala sklonih naponskoj koroziji kao što su nerđajući čelici, mesing i dr.

Potrebno je izbegavati zatore između delova u konstrukciji koji se mogu javiti u procesu spajanja delova, jer se u njima vlaga ili elektrolit zadržavaju duže vreme. Spajanje delova metalne konstrukcije uraditi zavarivanjem, izbegavati lemljenje i zakovane spojeve (Sl.4.10c). U zalemljenim spojevima zbog razlike u strukturi materijala lema i dela konstrukcije dolazi do formiranja strukturnog galvanskog elementa, (Sl. 4.10b), dok je kod ostvarivanja veze zakivcima ili zavrtnjima zbog zatora koji se tu pojavljuju formira koncentracioni galvanski element (Sl.4.10a).

Konstrukcija rezervoara i drugih sudova za tečnosti mora da omogući veoma lako sušenje i čišćenje, jer zadržavanje lokvi/barica korozivne tečnosti stvara koncentracioni galvanski element i prozrokuje pojavu korozije.

Celishodno je pri projektovanju delova izloženih koroziji predvideti uvećanje debljine metala na mestima koja su najviše izložena koroziji, a takođe se mora uzeti u obzir i mogućnost veoma lake i brze zamene korodiranih delova.



**Slika 4.5** Primeri spajanja dva dela elične konstrukcije

*a) Delovi spojeni zakivcima – moguća pojava koncentracionog galvanskog elementa; b) delovi spojeni lemljenjem – moguća pojava strukturnog galvanskog elementa; c) delovi spojeni zavarivanjem – sprečeno stvaranje korozije u zazoru.*

**Zaštitne prevlake.** Postoji veoma veliki broj prevlaka koje mogu smanjiti ili zaštititi metalne površine izložene uticaju korozije uključujući boje, emajl, polimere, metalne i oksidne prevlake. Ove prevlake mogu pružiti dobru zaštitu od korozije, ali ako dođe do njihovog oštećenja ta mesta postaju anode i dovode do ubrzane lokalne korozije. Bojenje malih površina je veoma jeftin i prikladan metod za zaštitu metalnih površina od korozije. I pored svojih prednosti ovaj način zaštite ima izvesne nedostatke: zaštitni premazi nisu otporni na habanje; posle određenog vremena u eksploataciji zaštini premazi se moraju obnavljati; boje se ne mogu upotrebljavati za zaštitu delova koji su izloženi povišenim temperaturama.

Zaštitne prevlake od emajla su veoma dobre za mnoge namene, a posebno za zaštitu delova od korozije, koji su izloženi povišenim temperaturama. Nedostatak ovih prevlaka je njihova velika krtoš. Za zaštitu delova izrađenih od čelika upotrebljavaju se veoma često i prevlake od termoplastičnih polimernih materijala. Jedan veoma prikladan način zaštite metala od korozije je nanošenje na njegovu površinu veoma tanke prevlake metala otpornog na koroziju. Aluminijum, kadmijum, hrom, nikal, kalaj i cink upotrebljavaju se za zaštitu delova izrađenih od čelika. Zaštitne metalne prevlake u slučaju da su porozne ili se u toku rada oštete, mogu biti i anode i katode u odnosu na čeličnu osnovu u zavisnosti od vrste materijala prevlake.

U nekim slučajevima površine metala mogu se pasivizirati i brzina korozije smanjiti. Ako je elektrolit jako oksidaciono sredstvo dolazi do anodne reakcije i do formiranja oksidne prevlake na površini aluminijuma, hroma i nerđajućih čelika. Ova oksidna prevlaka je čvrsta, dobro prijanja, neporozna, neprovodna i štiti metal od dalje korozije.

**Inhibitori.** Izvesne materije dodate u relativno maloj koncentraciji rastvoru mogu pod određenim uslovima smanjiti brzinu korozije. Ove materije nazivaju se inhibitori. Vrsta inhibitora zavisi od metala/legure i od korozivne sredine. Prema sredini u kojoj pokazuju svoje pozitivno dejstvo razlikuju se: inhibitori za kisele sredine; inhibitori za bazne sredine; inhibitori za neutralne sredine; inhibitori za nevodene tečnosti (benzin, nafta i dr.) i inhibitori za atmosfersku koroziju.

Postoji više mehanizama zaštitnog delovanja inhibitora. Neki inhibitori reaguju tako da potpuno odstrane hemijski aktivne supstance u rastvoru (kao što je rastvoren kiseonik). Drugi način delovanja je da inhibitori svoje molekule dovode u vezu sa površinom koja korodira i da oni blokiraju oksidacione i redukcionne reakcije, ili da formiraju veoma tanku zaštitnu prevlaku na površini metala izloženu dejstvu agresivne sredine.

Inhibitori se uglavnom koriste u rastvorima ograničene zapremine i u zatvorenim sistemima (hemijski aparati, kondenzatori, parni kotlovi, sistemi grejanja, hladnjaci automobilskih motora i dr.).

**Katodna zaštita.** Jedan od najefikasnijih načina zaštite metala – konstrukcija od korozije je katodna zaštita. Ovaj način zaštite u nekim situacijama može potpuno zaustaviti proces korozije. Suština katodne zaštite metala od korozije je snabdevanje metala, koji se štiti, elektronima iz spoljnog izvora i od njega načiniti katodu. Katodna zaštita se može izvesti na dva načina: formiranjem glavanskog elementa, tzv. protektorna zaštita i pomoću spoljnog izvora jednosmerne struje, tzv. elektrozaštita ili katodna zaštita.

**Protektorna zaštita** se ostvaruje formiranjem galvanskog elementa, tako što se konstrukcija – metal koji se štiti električno spoji sa metalom čiji je električni potencijal negativniji – anoda. U prisustvu elektrolita metal- anoda korodira dajući svoje elektrone štiteći konstrukciju –

metal od korozije. Za metal – anodu koriste se cink, aluminijum ili magnezijum (metali koji imaju vrlo negativan električni potencijal). Metal – anoda se mora povremeno zamenjivati.

**Elektrozaštita**- katodna zaštita koristi spoljni izvor jednosmerne struje tako da se negativan pol vezuje za konstrukciju-metal, tj. ona je katoda, dok se pozitivan pol struje vezuje za pomoćnu anodu koja se troši – korodira.

Katodna zaštita se primenjuje za zaštitu od korozije podzemnih cevovoda i rezervoara, platformi za bušenje ispod površine mora, brodova i opreme brodova, grejača vode i dr.

### ***DEFINICIJE POJMOVA KORIŠĆENIH U OVOM POGLAVLJU:***

**Austenit** - čvrsti rastvor sa umetnutim atomima ugljenika u  $\gamma$ -Fe, sa maksimalnom rastvorljivošću ugljenika od 2,11% na temperaturi od 1148°C.

**Cementit** – intermetalno jedinjenje  $\text{Fe}_3\text{C}$  (železo karbid).

**Eutektički sastav (smeša)** – sastav tečne faze koja reaguje stvarajući dve nove čvrste faze na eutektičkoj temperaturi.

**Faza** – homogeni deo sistema koji ima jednoobrazna fizička i hemijska svojstva.

**Ferit** - čvrsti rastvor sa umetnutim atomima ugljenika u  $\alpha$ -Fe, sa maksimalnom rastvorljivošću ugljenika od 0,025% na temperaturi od 727°C.

**Konvencionalni napon tečenja ( $R_{p0.2}$ )**- napon koji proizvodi trajnu deformaciju od 0,2% početne merne dužine epruvete pri ispitivanju zatezanjem.

**Kritična brzina hladjenja** – najmanja brzina hladjenja pri kojoj se austenit transformiše u martenzit.

**Kubna prostorno centrirana kristalna rešetka (KZC)** – elementarna kubna rešetka kod koje su atomi postavljeni u svakom roglju (temenu) i u preseku dijagonala kuba (kocke). Pakovanje atoma je tako da je jedan atom u dodiru (interakciji) sa osam atoma koji se nalaze u rogljevima zamišljenog kuba.

**Kubna površinski centrirana kristalna rešetka (KPC)** – elementarna kubna rešetka kod koje su atomi postavljeni u svakom roglju i u preseku dijagonalnih strana kuba. Pakovanje atoma je tako da dvanaest atoma okružuju i dodiruju centralni atom.

**Napon na granici tečenja ( $R_e$ )** – napon u trenutku kada materijal počinje da se trajno deformiše.

**Plastičnost** – sposobnost materijala da se plastično deformiše pre nego što dodje do loma.

**Puzanje metala** – sporo plastično deformisanje materijala tokom vremena pod konstantnim statičkim opterećenjem i temperaturom.

**Perlit** - eutektoidna smeša ferita i cementita, nastala razlaganjem austenita (0,8%) laganim hladjenjem.

**Tvrdoća (HB)** - otpor koji materijal pruža prodiranju drugog tela u njega. Sračunava se kao odnos sile utiskivanja i površine otiska. Telo koje se utiskuje ima određen oblik, dimenzije i tvrdji je od materijala koji se ispituje. Po obliku tela koje se utiskuje može biti po: Brinelu (HBS – utiskivač čelična kuglica, HBW- utiskivač kuglica od volfram karbida), Vickersu (HV – utiskivač dijamantska piramida), Rokvelu (HRC – utiskivač dijamantski konus, HRB – utiskivač čelična kuglica), Knopu (HK – utiskivač dijamantska piramida).

**Udarne žilavost** – Mera sposobnosti materijala da apsorbuje energiju udara bez loma.

**Zatezna čvrstoća ( $R_m$ )** – maksimalni napon zatezanja koji materijal može da izdrži bez razaranja.

**Zamor** – postepeno razaranje materijala usled dugotrajnog dejstva naizmenično promenljivog opterećenja.

## ***PREDGOVOR POGLAVLJA 5***

*U ovom poglavlju biće reči o opštim mašinskim elementima vrstama mašinskih elemenata, dobrim i lošim stranama svake vrste, kinematikom i geometrijom mašinskih elemenata, klasifikacijama unutar vrste, osnovnim elementima proračuna čvrstoće, kao i materijalima od kojih su elementi napravljeni.*

*Posebno se izučavaju sledeći mašinski elementi:*

- 1. Elementi za vezu*
- 2. Elementi za prenos snage*
- 3. Elementi za prenos obrtnog kretanja*
- 4. Elementi za transport fluida*
- 5. Mehanizmi za prenos obrtnog u pravolinijsko kretanje*

## 5. MAŠINSKI ELEMENTI

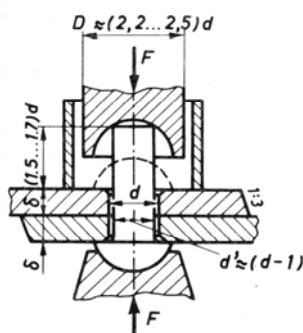
### 5.1 ELEMENTI ZA VEZU

#### 5.1.1 NERAZDVOJIVE VEZE

##### 5.1.1.1 Zakovani spojevi

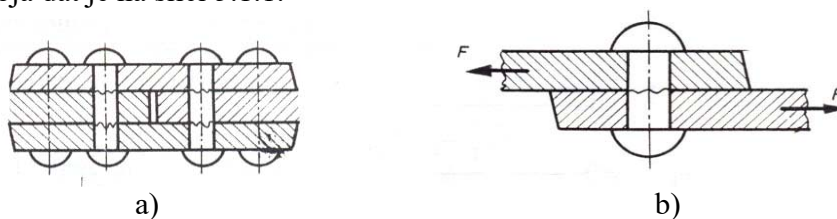
Delovi malih debljina u odnosu na ostale dimenzije (limovi, ploče, profili i sl.) se spajaju pomoću zakovica. Pomoću čeličnih zakovica većih prečnika se mogu spajati i čelični profili kod konstrukcija manje nosivosti (nadvožnjaci za pešake, kranovi, sl.), kao i ostvarivati nepropusnost spoja kod: kotlovskih agregata, rezervoara, sudova pod pritiskom i sl.

Zakovica se glavom stavlja u otvor delova koji se spajaju (sastavci), i udarcima se čekića ili pod pritiskom prese formira druga glava (slika 5.1). Novoformirana glava zakovice zajedno sa postojećom steže delove koje spaja i sprečava njihovo relativno pomeranje.



**Slika 5.1:** Postupak zakivanja

Prema načinu postavljanja sastavaka razlikujemo: sučeonu i preklopnu spoj. Kod sučeonog spoja sastavci se spajaju celom površinom, a kod preklopnog samo krajevima. Prikaz oba spoja dat je na slici 5.1.1.



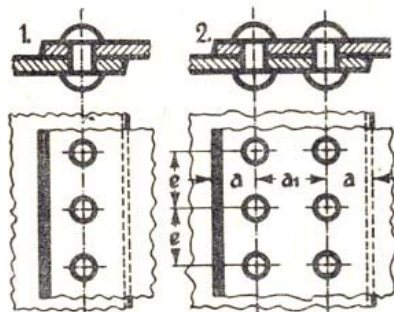
**Slika 5.1.1:** Način spajanja: a) sučeonu, b)preklopnu spoj

Zakivci mogu biti u jednom ili više redova. Raspored zakivaka u redovima može biti paralelan ili naizmeničan. Prema broju ravni u kojima bi zakovica mogla biti izložena smicanju, pri nedovoljnom otporu klizanja, dele se na: jednosečne, dvosečne i višesečne. Na slici 5.2 pod 1. prikazana je jednosečna, a pod 2. dvosečna veza. Kod jednosečne veze zakivci su u jednoj ravni koja je upravna na ravan smicanja i pravac opterećenja, a kod dvosečne u dve međusobno paralelne.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Sitne zakovice (prečnika tela zakovice do 9mm) zakivaju se u hladnom, a krupne (prečnika 10÷37mm) u toplom stanju.

Prema obliku glave zakovice mogu biti sa: poluokruglom, pljosnatom, sočivastom, trapeznom i upuštenom (kao kod zavrtanja) glavom.



**Slika 5.2:** Prikaz: 1.jednosečnih i 2.dvosečnih zakovica

Spajanje zakovicama je može biti prisutno i kod drvnih konstrukcija manje nosivosti (mostova za pešake, krovnih konstrukcija, klackalica, ljuljaški i sl.); dok je kod malo opterećenih delova spoj moguć putem nitne čija se druga glava formira na sličnom principu kao kod zakovice, pod dejstvom specijalnog alata – pištolja.

### - Proračunavanje zakovanih spojeva

#### 1) nenaponska veza

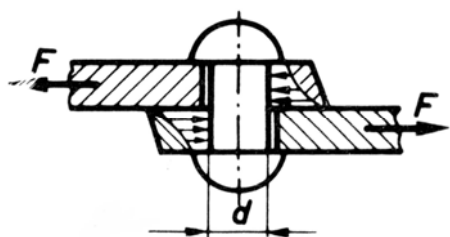
Kod nenaponske veze (sl. 5.3) sastavci koji su u spoju mogu da klizaju jedan u odnosu na drugi. Primeri za ovakvu vezu su kod: dizalica, mostova, greda, postolja i sl., gde su usled termičkih i mehaničkih opterećenja prisutne izvesne dilatacije što je posebno izraženo kod sastavaka od različitog materijala.

Zakivci su opterećeni na:

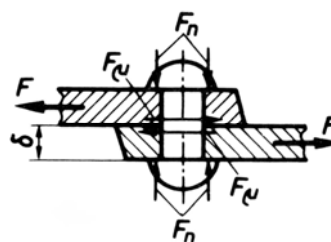
- a) smicanje, pri čemu je sila:  $F = n \cdot i \cdot F_1 = n \cdot i \cdot \tau_{sd} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
- b) površinski pritisak, koji stvara silu:  $F = n \cdot F_1 = n \cdot p \cdot A_1 = n \cdot p \cdot \delta \cdot d$

gde su:

$n$  – br. zakovica;  $i$  – br. smičućih površina;  $F_1$  – sila po jednoj zakovici;  $\tau_{sd}$  – dozvoljeni napon na smicanje zakovice;  $d$  – prečnik zakivka;  $p$  – dozvoljeni površinski pritisak;  $A_1$  – dodirna površina zakivka i sastavka



**Slika 5.3:** Nenaponska veza zakovicom



**Slika 5.4:** Naponska veza

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

### **2) naponska veza**

Kad je spoj ostvaren naponskom vezom (sl.5.4) sastavci ne klizaju već su čvrsto pritisnuti jedan na drugi, pa se sila trenja suprotstavlja poprečnoj sili  $F$ , čiji intenzitet iznosi:

$$F = n \cdot i \cdot F_1 = n \cdot i \cdot \mu \cdot \sigma_{zd} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

gde su:

$\mu$  - koeficijent trenja;  $\sigma_{zd}$  – dozvoljeni napon na istezanje zakivka

Ovim se obezbeđuje nepropusnost spoja (npr. kod rezervoara, sudova pod pritiskom, i sl.).

Na kraju, evo još nekih empirijskih vrednosti koje je potrebno znati prilikom formiranja sastavka.

Prečnik zakovice određuje se kao:

$$d = \sqrt{50 \cdot \delta_{\min}} - 2 \text{ (mm)}$$

gde je:

$\delta_{\min}$  (mm) – debljina najtanjeg lima u sastavku

Ovaj prečnik treba standardizovati na prvu veću standardnu vrednost.

Korak zakovica (rastojanje između dve susedne zakovice) biće (sl. 5.2):

$$e = (2 \div 6) \cdot d$$

Odstojanje zakovice od ivice sastavaka koji se spajaju treba da bude minimum (sl. 5.2) :

$$a = (1,5 \div 4) \cdot d$$

Razmak između redova (sl. 5.2) :

$$a_1 = (3 \div 6) \cdot d$$

### **- Materijal i označavanje zakovica**

Materijal za zakovice treba da bude sličnog sastava kao i spojeni delovi, zbog približno istih toplotnih dilatacija i zbog eliminisanja pojave elektro-erozije u kojoj se razgrađuje »slabiji« materijal, bilo zakovica ili sastavak .

Najčešće se koristi čelik za zakovice ( dat u standardu SRPS C.B0.506), a takodje je moguće koristiti bakar, mesing i Al-legure koji se primenjuju kod konstrukcija male mase.

Označavaju se nazivnim prečnikom (d), dužinom (l), standardom kome pripadaju i materijalom. Na primer za: d=15mm, l=50mm, i od čelika za zakovice ČZ340 oznaka je: Ø15x50 –SRPS M.B3.021 - ČZ340.

### 5.1.1.2 Zavareni spojevi

Zavarivanje je jedan od načina spajanja materijala u neraskidivu vezu. Spoj se može ostvariti topljenjem ili pod pritiskom.

Topljenjem se topi materijal na mestu spoja uz dodavanje dodatnog materijala ili bez njega. Postupci su: gasno, elektrolučno, pod troskom, plazmom, elektronskim snopom, laserom i sl.

Zavarivanjem pritiskom ostvaruje se omekšavanje materijala na mestu spoja pod dejstvom pritiska ili udarca. Može biti: na hladno, elektrotopno (tačkasto, šavno, sučeljno), trenjem, ultrazvukom, eksplozivno i dr.

Kod gasnog zavarivanja toplota potrebna za topljenje materijala dobija se sagorevanjem smeše acetilena ( $C_2H_2$ ) i kiseonika ( $O_2$ ), koja se stvara u gorioniku koji poseduje ventile za regulaciju protoka i plamenik koji je zamenljiv. Poklopac boce punjene acetilenom je beo, a boce punjene kiseonikom je plav, kako bi se razlikovale.

Kod elektrolučnog zavarivanja toplota se stvara električnim lukom između elektrode i materijala koji se zavaruje. Može biti u zaštitnoj atmosferi argona (IG oznaka) ili  $CO_2$  (AG oznaka) i to sa volframovom (T) - netopljivom i metalnom (M) - topljivom elektrodom, tako da razlikujemo TIG, MIG i MAG postupak.

Zavarivanje se može ostvariti u jednom ili više prolaza.

#### - Prednosti zavarivanja

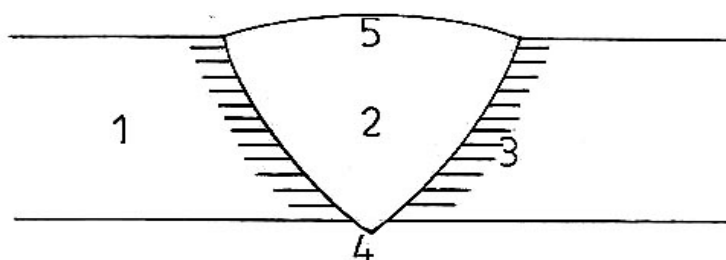
Prednosti zavarivanja u odnosu na druge postupke:

- laka konstrukcija (i do 20% nego kod zakivanja, i do 50% u odnosu na delove dobijene livenjem)
- ekonomičnost - najbolje iskorišćenje porečnog preseka zavarenih elemenata uz uštedu materijala
- skraćanje vremena procesa spajanja
- jednostavnost procesa
- mogućnost dobijanja komplikovanih oblika
- veća sigurnost i hermetičnost spoja
- može se koristiti u reparativne svrhe (navarivanje, sečenje)
- smanjuje se buka (prisutna kod zakivanja)

#### - Elementi vara

Elementi vara prikazani su na slici 5.5. To su:

- 1) osnovni materijal
- 2) šav - nastao mešanjem osnovnog i dodatnog materijala
- 3) zona uticaja toplote (ZUT) - osnovni materijal koji je hladjenjem pretrpeo strukturne promene
- 4) koren šava - kod više prolaza prvo se uradi
- 5) granica šava - dokle ide poslednji prolaz



*Slika 5.5: Elementi vara*



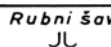
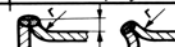
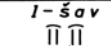
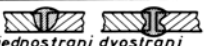
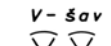
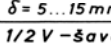
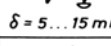
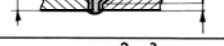
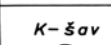
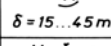
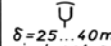
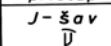
Raspodela napona je neravnomerna i različita u svakom od pravaca iz korena šava gde su naponi najveći. Mesto spoja ispituje se na statičku i dinamičku izdržljivost.

### - Priprema materijala za zavarivanje i vrste žljeba i spoja

Priprema materijala za varenje vrši se na sledeći način:

- 1) za tanke materijale debljine do 5mm primicanjem na razdaljinu  $0,5 \div 1,5 \text{ mm}$
- 2) za deblje materijale izradom žljeba i spajanjem u šav u obliku slova: V, U, X i K.

Vrste spojeva koji mogu nastati su: sučeoni, preklonni, ivični, T-spoj, krstasti spoj. Neki od najčešćih vrsta šavova i spojeva su dati na slici 5.6.

| Naziv i oznaka šava                                                                                                                                     | Zavareni spojevi                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                         | sučeoni zavareni spojevi                                                            |                                                                                     | ugaoni zavareni spojevi                                                              |                                                                                       |
|                                                                                                                                                         | horizontalni                                                                        | vertikalni                                                                          | T-spojevi                                                                            | ivični spojevi                                                                        |
| Rubni šav<br><br>$\delta < 2 \text{ mm}$                               |    | $h = \delta + 1 \text{ mm}$                                                         | $r = 0$                                                                              |    |
| I-šav<br><br>$\delta = 1 \dots 5 \text{ mm}$                           |    |    | $s = 0 \dots 2 \text{ mm}$                                                           |    |
| Ugaoni šav<br><br>$\delta \leq 15 \text{ mm}$                          |                                                                                     |    |    |    |
| V-šav<br><br>$\delta = 5 \dots 15 \text{ mm}$                          |    |    |                                                                                      |    |
| 1/2 V-šava<br><br>$\delta = 5 \dots 15 \text{ mm}$                    |   |   |   |   |
| X-šav<br><br>$\delta = 15 \dots 45 \text{ mm}$                       |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
| K-šav<br><br>$\delta = 15 \dots 45 \text{ mm}$                       |  |  |  |  |
| U-šav<br><br>$\delta = 25 \dots 40 \text{ mm}$<br>jednostran pristup |  |  |                                                                                      |  |
| J-šav<br><br>$\delta > 25 \text{ mm}$<br>jednostran pristup          |  |  |  |  |
| Dvostruki U-šav<br><br>$\delta > 40 \text{ mm}$                      |  |  |                                                                                      |                                                                                       |
| Dvostruki J-šav<br><br>$\delta > 35 \text{ mm}$                      |  |  |  |  |

Slika 5.6: Vrste šavova i spojeva

### - Greške u zavarenim spojevima

#### 1) greške vezivanja

- nevidljive posle zavarivanja
- nastaju usled nedovoljno rastopljenog osnovnog i dodatnog materijala ili njihovog neistovremenog očvršćavanja

2) *neprovaren koren*

- pukotina u korenu šava
- usled lošeg izbora plamenika gorionika

3) *prokapljao koren*

- uzet jači plamenik, sa grlom veće širine

4) *smaknut var*

- estetska greška, zbog nepažnje

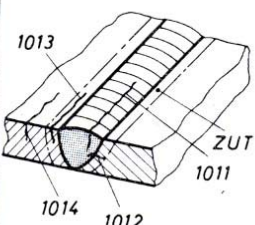
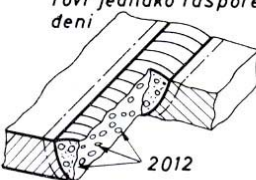
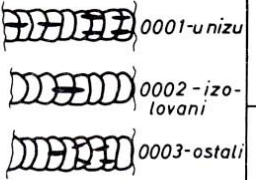
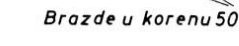
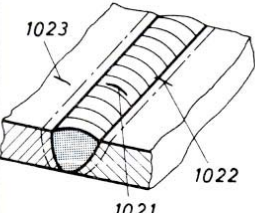
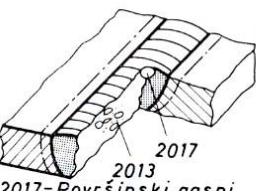
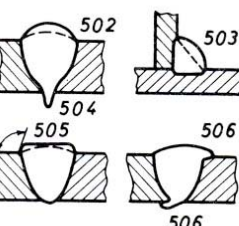
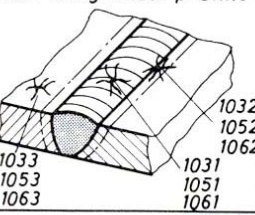
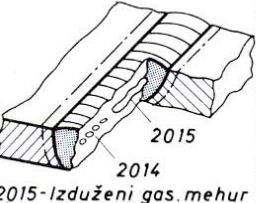
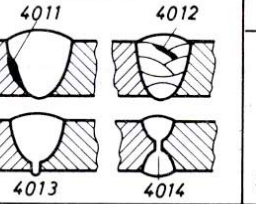
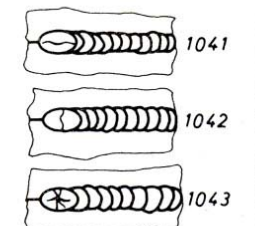
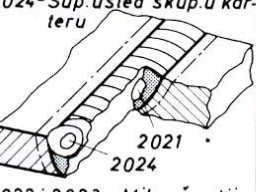
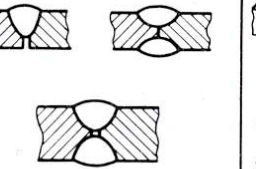
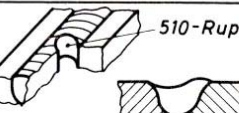
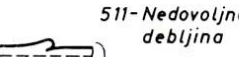
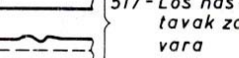
5) *nadvišen ili nedovoljno ispunjen var*

- greške estetske prirode, a nedovoljno ispunjen var i mesto moguće koncentracije napona.

6) *naprsline*

- uzdužne, poprečne, tople i hladne - najopasnije
- posledica nepravilno izabranog dodatnog materijala.

Neke od najčešćih grešaka zavarivanja svrstanih u grupe date su na slici 5.7.

| GRUPA Br. 1<br>Prsline                                                                                                                                     | GRUPA Br. 2<br>Uključci gasa                                                                                                                                                        | GRUPA Br. 3 i 4<br>Uključci u čvrstom stanju, naleplj. i nedost. provar.                                                                                                | GRUPA Br. 5<br>Greške oblika šava                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 101-Podužne prsline<br>                                                  | 2011-Loptasti gasni mehu.<br>2012-Loptasti gasni mehu-<br>rovi jednako raspore-<br>deni<br>       | 300-Uključci u čvrstom stanju<br>                                                    | Zajed (5011-duž šava<br>5012-mestimično)<br><br>Brazde u korenu 5013<br>                                                                                                |
| 102-Poprečne prsline<br>                                                | 2013-Gnezdo gasnih mehurova<br>                                                                  | 301-Uključci troske<br>302-Uključci praha<br>303-Uključci oksida<br>3031-Skrama oksida<br>3041-Uključci volframa<br>3042-Uključci bakra<br>3043-Uključci ostalih metala | Greške profila<br>                                                                                                                                                                                                                                       |
| 103-Zrakaste prsline<br>105-Grupa prsline<br>106-Razgranate prsline<br> | 2014-Gasni mehurovi u nizu<br>                                                                   | 401-Nalepljivanje (nedostatak veze nanetog materijala)<br>                          | 507-Smaknuće<br><br>508-Odstupanje pravca<br>                                                                                                                       |
| 104-Prsline u krateru<br>                                               | 2021-Šupljina usled skupljanja<br>2024-Šup.usled skup.u krateru<br><br>2022 i 2023-Mikrošupljine | 402-Nedostatak provara<br>                                                          | 510-Rupa<br><br>511-Nedovoljna debljina<br><br>517-Loš nastavak zavaravara<br> |

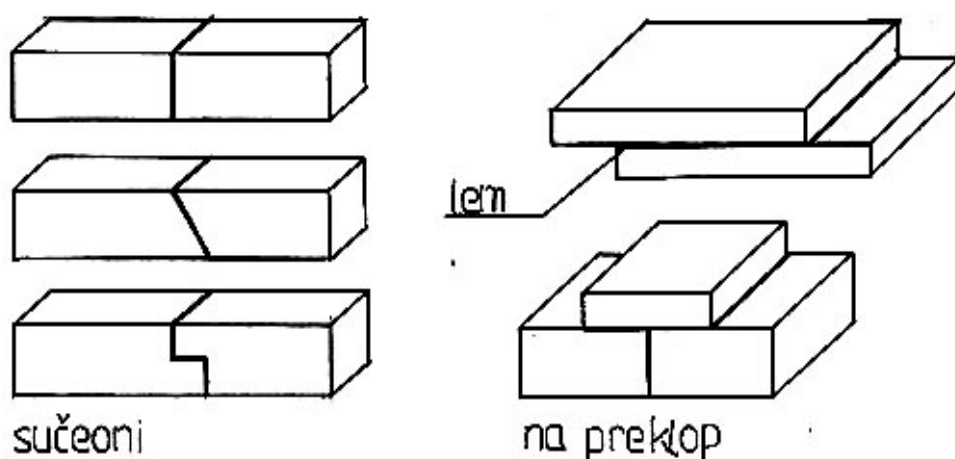
Slika 5.7: Greške u zavarenim spojevima

### 5.1.1.3 Zalemljeni spojevi

Spajanje materijala u nerazdvojivu vezu popunjavanjem zazora između njih lemom (dodatnim materijalom) koji ima nižu tačku topljenja od materijala koji se spaja. Lem se topi, razliva po dobro očišćenoj površini, kvasi i delimično difunduje u nju.

Pre lemljenja površine mogu biti pokrivene oksidom ili masnoćom. Moraju se dobro očistiti da bi se obezbedilo dobro kvašenje i adhezija lema i osnovnog materijala koji se spaja. Masnoće se uklanjaju organskim rastvaračima (benzin, špiritus); dok se oksidi mogu uklanjati: mehanički (žičana četka, turpija, brusni papir), hemijski (kiseline, baze, soli) i elektrohemijski (galvanskim postupkom).

Spojevi mogu biti sučeoni i na preklop (sl. 5.8).



*Slika 5.8: Vrste spojeva kod lemljenja*

Jedan od postupaka spajanja pločica od tvrdog metala na alate za obradu drveta (na pr. kod: kružnih pila, glodala, i sl.) je putem lemljenja, i to u poslednje vreme indukcionog, o čemu će biti reči u sledećem poglavlju.

#### - Lemovi i topitelji

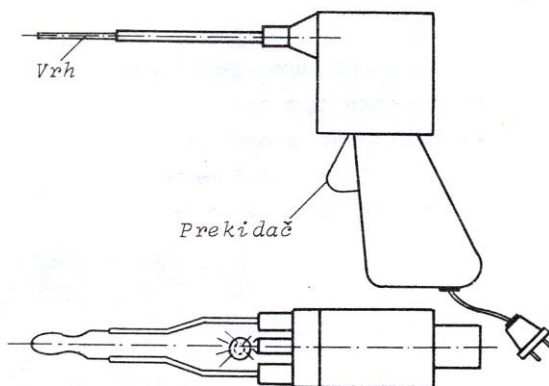
Prema načinu lemljenja lemovi se dele na meke i tvrde, odnosno na lako topljive i teško topljive, zavisno od toga da li im je temperatura topljenja ispod 450°C ili iznad ove temperature.

Meki lemovi su legure lakotopljivih metala najčešće kalaja (Sn) i olova (Pb) sa malim dodatkom antimona (Sb). Legure za meko lemljenje mogu da sadrže još: bizmut (Bi), kadmijum (Cd) i cink (Zn). Glavna odlika bizmuta je da lemu snižava temperaturu topljenja. Tako, na primer, legura poznata kao Vudov-metal sastoji se iz: Bi (50%), Pb (25%), Sn (12,5%) i Cd (12,5%) ima temperaturu topljenja svega 60,5°C. Kao topitelj primenjuje se sona kiselina (HCl), cinkhlorid (ZnCl<sub>2</sub>), ili mešavina cinkhlorida sa amonijum-hloridom (nišadorom) NH<sub>4</sub>Cl, ili pasta čiji je glavni sastojak vazelin (77%).

Za tvrdo lemljenje se kao lemovi primenjuju čist bakar (Cu), legure bakra i cinka (Cu-Zn), legure bakra i nikla (Cu-Ni), kao i legure bakra sa srebrom (Cu-Ag). Legura Cu-Zn (mesing) najviše se primenjuje kod tvrdog lemljenja. Kad se od lemljenog spoja traži velika jačina, kao lem se leguri Cu-Zn dodaju: kalaj (Sn), silicijum (Si), nikal (Ni) i mangan (Mn). Kao topitelj uglavnom se koristi boraks (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10 H<sub>2</sub>O) ili borna kiselina H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.

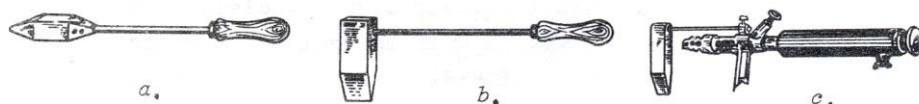
#### - Postupci lemljenja

1) **Lemljenje mehaničkom lemilicom** koje može biti sa povremenim ili sa stalnim zagrevanjem lemilice. Kao lemilo sa stalnim zagrevanjem najčešće se koristi lemilica sa sopstvenim izvorom toplote, poznatija kao električna lemilica (sl. 5.9).



**Slika 5.9:** Električna lemilica

Ona se koristi za lemljenje sitnijih delova mekim lemilima, dok se za lemljenje krupnijih komada koristi mehanička lemilica (sl. 5.10) sa povremenim zagrevanjem. Na vrhu lemilice izradjenom u obliku klina od kovanog bakra, akumulira se dovoljna količina toplote potrebna da zagreje osnovni materijal i istopi lem. Vrh lemilice tj. njen radni deo, može se na više načina zagrejati i to: sagorevanjem tečnog goriva, gasnim plamenom ili užarenim drvenim ugljem (ćumumom).

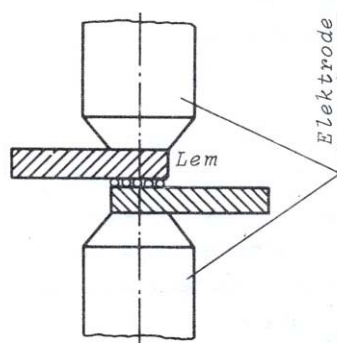


**Slika 5.10:** Mehaničke lemilice: obične (a,b), benzinske (c)

2) **Gasno lemljenje (gorionikom).** Dodatni materijal se topi pomoću plamena usmerenog na dobijenog sagorevanjem smeše acetilena i kiseonika. Na ovaj način leme se: ugljenični i niskolegirani čelici, nerđajući čelici, legure aluminijuma, bakar i njegove legure i legure magnezijuma. Kao dodatni materijal upotrebljavaju se legure bakra i cinka, a redje i legure bakra sa srebrom.

Gasno lemljenje može biti: ručno, delimično mehanizovano ili potpuno mehanizovano.

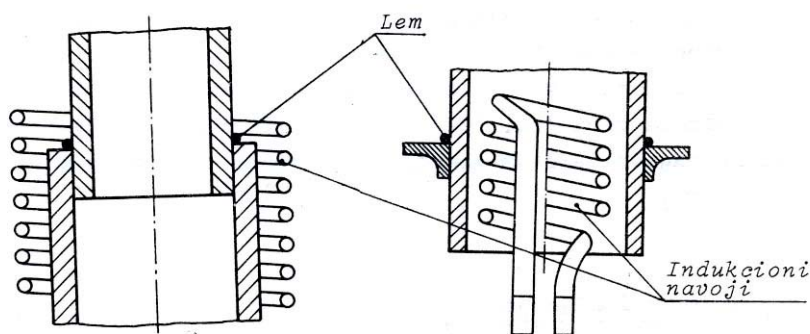
3) **Elektrotopno lemljenje.** Pri ovoj vrsti lemljenja osnovni materijal se lokalno zagreva a lem, umetnut izmedju delova koji se spajaju, topi zahvaljujući toploti oslobodjenoj proticanjem električne struje kroz elektrode i osnovni materijal (sl. 5.11).



**Slika 5.11:** Elektrootporno lemljenje

Osnovni materijal koji se najčešće spaja elektrootpornim lemljenjem je bakar i njegove legure: bakar-hrom, bronzе i olovne bronzе. Elektrootpornim lemljenjem mogu se uspešno spajati i čelični limovi, dok se ovako veoma retko spajaju delovi od nerdjajućeg čelika, legure nikla i aluminijuma. Primenuju se klasične ugljene elektrode ili elektrode sa molidbenskim umetkom, jer se time povećava električni otpor elektroda i omogućava lokalno zagrevanje i topljenje lema bez topljenja osnovnog materijala.

4) **Indukcionо lemljenje.** Ovo lemljenje sprovodi se lokalnim zagrevanjem ivica delova koji se leme pomoću električne energije prenete indukcijom. Energija se na ivice osnovnog materijala prenosi sa induktora (bakarne cevi hladjene vodom) koji se sastoje od jednog ili više radnih namotaja. Najveći deo toplote skoncentrisan je na tankom površinskom sloju u blizini induktora. Koristi se struja visoke amperaže, a frekvence od frekvence električne mreže  $f = 50\text{Hz}$  do približno  $f = 450\text{Hz}$ . Najjednostavnije je lemljenje cilindričnih delova prikazano na slici 5.12.



**Slika 5.12:** Indukcionо lemljenje

Većina metala i legura koji se mogu spajati drugim načinima lemljenja uspešno se leme i indukcijom, izuzev aluminijuma i magnezijuma. Glavna prednost indukcionog lemljenja u odnosu na druge postupke je brzo i lokalizovano unošenje toplote, što svodi oksidaciju na najmanju meru i smanjuje zahteve u pogledu čistoće površina namenjenih spajanju.

5) **Lemljenje potapanjem.** Ovo lemljenje obavlja se potapanjem delova namenjenih lemljenju u kade sa rastopom legura ili istopljenim solima, koje se stalno zagrevaju putem elektroda.

Temperatura u rastopu mora biti iznad temperature topljenja dodatnog materijala, ali uvek ispod temperature topljenja osnovnog materijala.

Za lemljenje ugljeničnih i niskolegiranih čelika upotrebljavaju se: neutralne hlorne soli (NaCl) sa dodatkom topitelja, kao i soli ugljene kiseline (karbonati  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) i natrijum cijanat (NaCN) kojima se ne dodaju topitelji, jer one same preuzimaju ulogu topitelja. Neutralne soli štite površine čeličnih delova od oksidacije iz vazduha, ali ne razlažu ranije stvorene okside, pa su stoga neophodni topitelji.

Dodatni materijal pri lemljenju čeličnih delova je srebrni lem ili legura bakra i cinka. Lem koji može biti u obliku: žice, trake, praha ili paste postavlja se direktno na mesto spajanja neposredno pre potapanja.

Vreme držanja delova u kadama zavisi od dimenzija delova, tražene jačine spoja, vrste soli i sl. Treba istaći da je prednost ovog postupka u velikoj brzini lemljenja, kao i isključenju pojave unutrašnjih napona i deformacija na formiranom spoju.

**6) Lemljenje u pećima sa zaštitnom atmosferom.** Uglavnom se primenjuje u visoko serijskoj proizvodnji pri čemu se spajaju sitni komadi mase do 2kg. Za lemljenje ugljeničnih i nisko legiranih čelika upotrebljavaju se lemovi na bazi bakra, a redje i srebrni lem. Neophodna je zaštitna atmosfera kojom se čelični delovi štite od oksidacije i razugljeničenja za vreme lemljenja i hladjenja. Zaštitni gasovi su obično: vodonik, amonijak, i metan ( $\text{CH}_4$ ) pripremljen tako da mu se umanjí eksplozivnost. Peći se zagrevaju gasnim plamenom ili električnim grejačima.

**7) Lemljenje ultrazvukom.** Savremeni postupak kod koga se zagrevanje i topljenje lema postiže toplotom usled njegovog dužeg izlaganja ultrazvukom. Prednosti su: kvalitetan spoj sa čistom površinom i što nisu potrebni topitelji, a mane: skupa aparatura i relativno dugo trajanje postupka.

### **- Tehnologija mehaničkog lemljenja**

Površine očišćene od oksida i dobro odmašćene. Treba da budu premazane topiteljem (najčešće  $\text{ZnCl}_2$ ). Lemilo zagrejati na  $t=250-300^\circ\text{C}$ , potopiti u lem i primaći površinama koje se leme. Kada se postigne temperatura topljenja lema, lem sa vrha lemila prodire u zazor, popunjava ga i posle hladjenja ostvaruje spoj. Nakon lemljenja delove treba oprati vodom, jer zbog topitelja dolazi do korozije. Dodatni materijal (lem) može biti u obliku: žice, štapića i cevčica koje su ispunjene topiteljem.

## **5.1.2 RAZDVOJIVE VEZE**

### **5.1.2.1 Spojevi klinovima**

Jedan od veoma čestih načina spajanja u razdvojuvu vezu je putem klina. Glavni zadatak klina je da sa vratilom spaja: zupčanik, kaišnik, lančanik, spojnicu, zamajac i dr. obrtni deo. Pored ovoga klinovi služe i za vodjenje i osiguranje delova mašina.

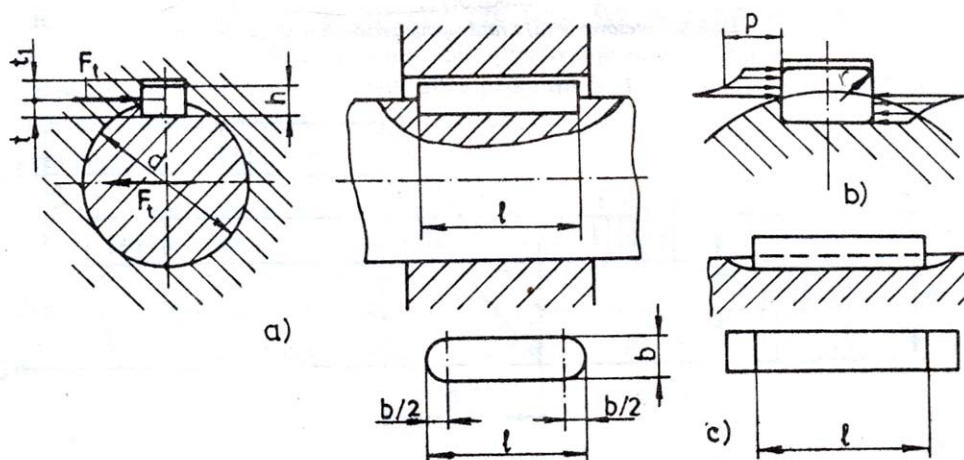
Način postavljanja klina je takav da se u vratilu i glavčini elementa koji se spaja sa vratilom prvo izrade žljebovi. Zatim se u taj žljeb postavlja klin koji povezuje pomenute elemente u funkcionalnu celinu.

Prema položaju u odnosu na osu vratila klinovi mogu biti: uzdužni i poprečni. Uzdužni klinovi se postavljaju duž ose vratila, a poprečni upravno na nju. Uzdužni klinovi mogu biti sa nagibom i bez njega.

### **- Klinovi bez nagiba**



Klinovi bez nagiba imaju oblik kvadra i mogu biti sa: poluokruglim i ravnim čelom. Na slici 5.13 prikazan je način spajanja klinom bez nagiba.



**Slika 5.13:** Klin bez nagiba sa: a) poluokruglim b) i c) ravnim čelom

Dimenzije klina se izražavaju u obliku: lxbxh (mm), pri čemu je l-dužina, b-širina, a h-visina klina. Date su u standardu SRPS M.C2.020.

Pri prenošenju obrtnog momenta klin je izložen transversalnoj sili, ali i spregu. Usled ovoga se stvara pritisak na dodirnim površinama koji mora biti manji od dozvoljenog tj.:

$$p = \frac{F_t}{A} = \frac{2 \cdot M}{d_v \cdot l_k \cdot (h - t)} \leq p_d \quad (1)$$

gde je:

$l_k$  – korisna dužina klina koja se računa prema:

$$l_k = 1,5 \cdot d_v - \text{za glavčinu od sivog liva} \quad (2)$$

$$l_k = (1 \div 1,3) \cdot d_v - \text{za glavčinu od čelika} \quad (2')$$

$d_v$  – prečnik vratila

$t$  – dubina za klin u podglavku vratila

$p_d$  – dozvoljeni površinski pritisak koji se usvaja prema tabeli 5.1 u zavisnosti od materijala glavčine i vrste pogona.

**Tabela 5.1:** Dozvoljeni površinski pritisak za klinove bez nagiba (N/mm<sup>2</sup>)

| Vrsta klina         | Materijal glavčine | Pogon |                   |                  |
|---------------------|--------------------|-------|-------------------|------------------|
|                     |                    | Miran | Sa slabim udarima | Sa jakim udarima |
| Klin za čvrstu vezu | Čelik              | 150   | 100               | 50               |
|                     | Sivi liv           | 80    | 53                | 27               |
| Klin za navođenje   | Čelik              | 50    | 40                | 30               |

Ukupna dužina klina za klin sa poluokruglim čelom (sl. 5.13a) biće:

$$l = l_k + b, \quad (3)$$

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

a za klin sa ravnim čelom (sl. 5.13b, c):

$$l = l_k \quad (3')$$

Vrednosti za dužinu klina treba standardizovati na prvu veću standardnu vrednost prema Tabeli 5.1.1.

**Tabela 5.1.1:** Standardne dužine klinova u (mm) - (prema SRPS M.C2.020.)

|    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |                    |    |    |    |     |
|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|----|----|----|-----|
| 6  | 8  | 10 | 12 | 14  | 16  | 18  | 20  | 25  | 28  | 32                 | 40 | 45 | 50 | 56  |
| 63 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 125 | 140 | 160 | 180 | ... na svakih 20mm |    |    |    | 400 |

Za slučaj da je  $p > p_d$  treba izračunati novo  $l'_k$  prema izrazu (1), bez obzira na preporuke (2) i (2'), kao:

$$l'_k = \frac{2 \cdot M}{d_v \cdot p_d \cdot (h - t)},$$

Pored površinskog pritiska usled dejstva transferzalnih sila, klin je izložen smicanju u ravni koja tangira dodirni cilindar glavčine i podglavka:

$$\tau_s = \frac{F_t}{A} = \frac{F_t}{b \cdot l_k} \leq \tau_{sd}$$

Ukoliko je ovo zadovoljeno što je najčešće, onda se dimenzije klina usvajaju na već propisan način, a ukoliko ne, sračunava se:

$$l''_k = \frac{F_t}{b \cdot \tau_{sd}}$$

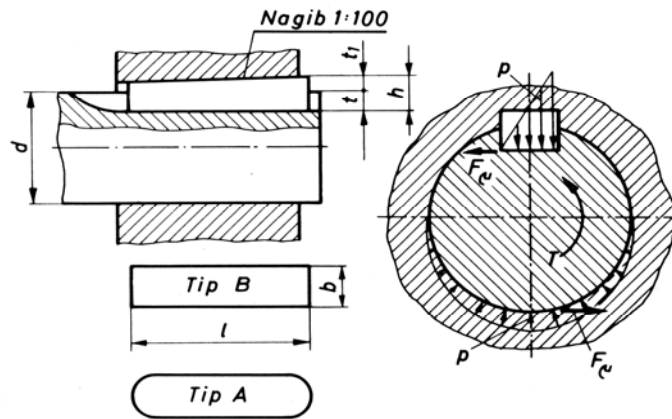
Sada se između  $l'_k$  i  $l''_k$  bira veće, pa se prema izrazima (3) i (3') i novo  $l'$ , koje kad se standardizuje daje nove dimenzije klina  $l' \times b \times h$ . Drugi način bi bio da se usvoji dva ili više klinova dimenzija  $l \times b \times h$ , sve dok ne bude  $p < p_d$  i  $\tau_s < \tau_{sd}$ . Ovaj način svakako poskupljuje izradu.

Dakle, tek kad se izvrši obe provere na pritisak, moguće je usvojiti dimenzije i broj klinova. Potrebno je obezbediti što čvršće naleganje spojenih delova (preklop).

### - Klinovi sa nagibom

Klinovi sa nagibom pored momenta prenose i aksijalne sile i to otporom klizanja koji se javlja na površinama dodira glavčine i klina sa jedne, i podglavka i klina sa druge strane. Primenuju se kod sporohodnih vratila sa obrtnim momentima sa udarima. Način spoja putem klina sa nagibom prikazan je na slici 5.14. Dimenzije su date u standardu SRPS M.C2.060.





*Slika 5.14: Klin sa nagibom*

Nedostaci klina sa nagibom bili bi:

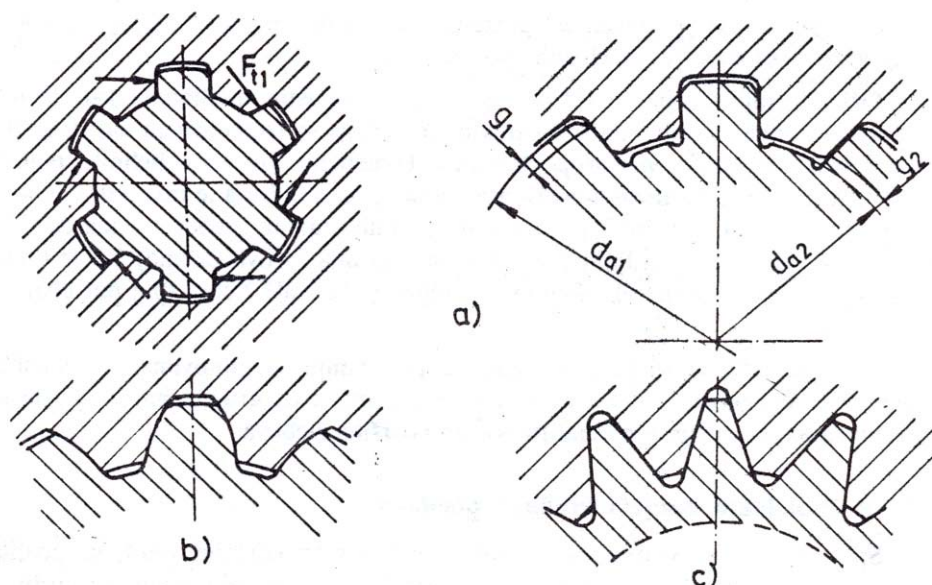
- ekscentričan položaj spojenih elementa u odnosu na vratilo
- naponi na mestima dodira veći nego kod klina bez nagiba

### 5.1.2.2 Žljebni spojevi

Predstavlja spoj žljebljenog vratila i žljebljene glavčine nekog elementa za prenos snage. Žljebni spoj prikazan je na slici 5.15. Na ovaj način se tangencijalna (obimna) sila deli na više površina i primena im je upravo kod većih opterećenja naročito dinamičke prirode, a pogodni su i za pokretljive veze (kod menjača, frikcionih spojnice i sl.). Takođe, primenjuju se i da bi se povećala tačnost centriranja ose vratila i ose glavčine. Centriranje glavčine u odnosu na osu podglavka može biti po bočnim površinama (kod sve tri vrste žljebnih spojeva) i po spoljašnjem ili unutrašnjem cilindru što se može primeniti kod žljebnih spojeva sa ravnim bokovima (sl 5.15a).

Prema obliku profila boka žljebni spojevi mogu biti sa: ravnim bokovima, sa evolventnim bokovima i sa trouglastim profilom žljebova (sl. 5.15).

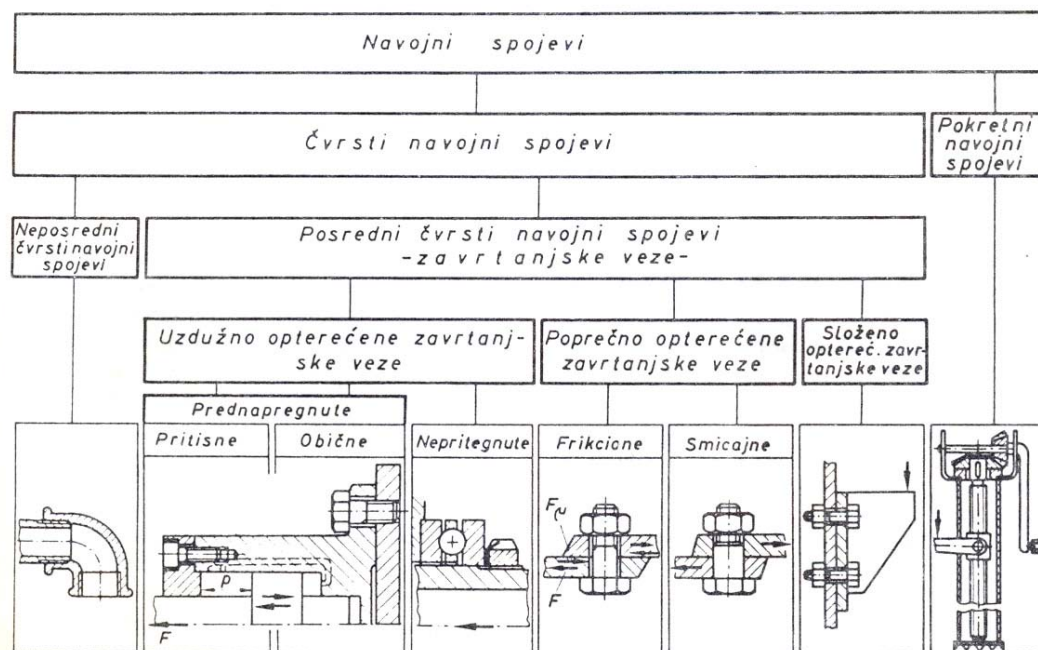
Pošto se pomoću više dodirnih površina prenosi obimna sila, žljebovi su manje dubine u odnosu na žleb sa klinom. Nedostatak je u tome što su skupi za izradu.



**Slika 5.15:** Profili žljebnih spojeva: a) sa ravnim bokovima, b) sa evolventnim bokovima, c) sa trouglastim profilom žljebova.

### 5.1.2.3 Navojni spojevi

Navojni spoj čine dva dela spojena preko navoja. Ovaj spoj može biti nepokretan (čvrst) i pokretan (sl. 5.15.1). Ako je navoj izradjen na samim delovima koji se spajaju onda je to neposredan navojni spoj, a ako je izradjen na posebnim delovima koji se nazivaju vijak (zavrtanj) i navrtka, onda je to posredni navojni spoj. Pored toga što se može razdvojiti navojni spoj omogućava željeni međusobni položaj spojenih delova i prenošenje opterećenja. Ta opterećenja mogu biti u pravcu ose zavrtnja – uzdužno opterećena zavrtnajska veza ili u pravcu upravnom na osu zavrtnja – poprečno opterećena zavrtnajska veza. Ukoliko na zavrtnajsku vezu deluje više opterećenja onda kažemo da je složeno opterećena.

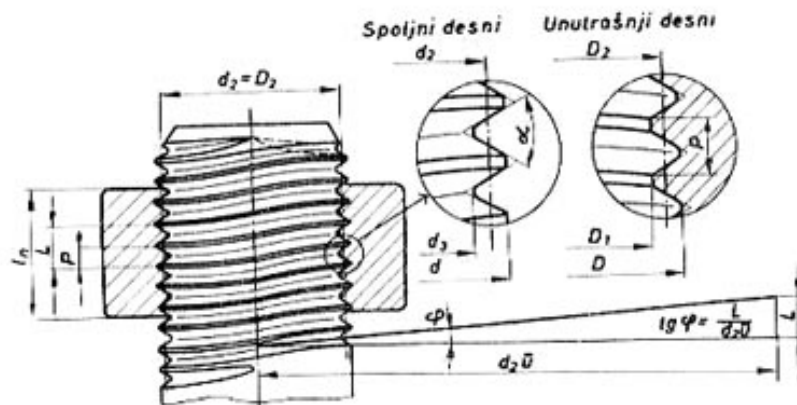


**Slika 5.15.1:** Podela navojnih spojeva

Posredni navojni spoj vijka i navrtke prikazan je na slici (sl. 5.15.2).

Navoj je geometrijsko telo ograničeno zavojnicom - prostornom krivom linijom koja nastaje kad tačka po cilindru vrši istovremeno dva kretanja: kružno oko ose i pravolinijsko duž ose.

Deo sa spoljašnjim navojem naziva se vijak (zavrtanj), a sa unutrašnjim navrtka.



Slika 5.15.2: Spoljni i unutrašnji navoj sa elementima navoja

Korak ( $h$ ) je rastojanje izmedju paralelnih bokova dvaju susednih navoja, a ugao zavojnice preko formule:

$$\tan \varphi = \frac{h}{d_2 \cdot \pi}$$

Definiše se još i:

prečnik jezgra  $d_3$  (najmanji, izmedju podnožja navojaka vijka)

srednji prečnik  $d_2 = D_2$  (sl. 5.16)

nazivni prečnik  $d = D$  (najveći, izmedju temena navojaka vijka)

Vrste navoja:

### 1) metrički navoj

- trouglasti profil pri vrhu ( $60^\circ$ )

- najšira primena, ostvaruje čvrstu vezu

- može biti:

a) krupnog (normalnog) koraka. Oznaka bi bila (M) iza koje ide nazivni prečnik ( $d$ ). Npr. M12.

- u opštem mašinstvu standardni prečnici idu  $1 \div 68 \text{ mm}$ .

b) sitnog koraka - za što manje slabljenje tela vijka i pri maloj dužini spoja veća sigurnost od samoodvrtanja. Oznaka npr.: M12x1,25; gde 1,25 označava veličinu koraka.

### 2) metrički konični navoj

- trouglasti profil, koničnost 1:16 prema osi navoja

- primena za dobru hermetičnost (kod cevnih vodova, sudova pod pritiskom)

Oznaka npr.: M24x1,5 kon.

### 3) Vitvortov cevni navoj

- trouglasti profil sa uglom pri vrhu  $55^\circ$ , a dimenzijama u colima

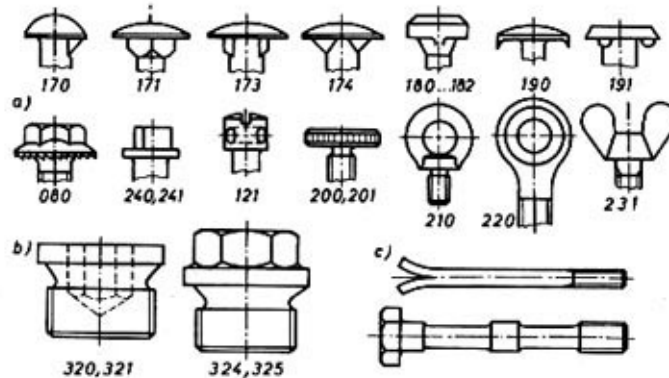
- zaobljen na velikom ( $d$ ) i malom ( $d_3$ ) prečniku, što obezbeđuje njegovu nepropusnost (nema zazora)

Oznaka npr.: Rd 1"

### 4) Trapezni navoj

- teoretski profil trougao (ugao pri vrhu  $55^\circ$ ), a stvarni oblik trapeza
  - za pokretljive navojne spojeve (vretena i sl.) dvosmerno opterećene
- Oznaka npr.: Tr 30x6.

Za spajanje elemenata od drveta (stolica, stolova i sl.) često se koriste vijci sa specijalnim oblikom glave prikazani na slici 5.15.3

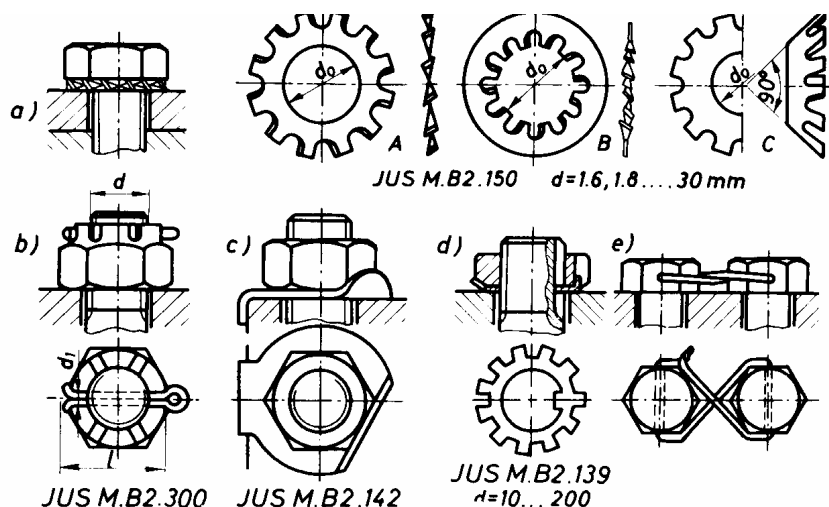


*Slika 5.15.3: Zavrtnji sa specijalnim oblikom glave*

#### - Osiguranje od samoodvrtanja

Postoje više načina osiguranja od samoodvrtanja vijka (sl. 5.16), a neki od njih su:

- 1) pomoću elastične podloške – podloška je pritegnuta navrtkom i želeći da se vrati pritiska navojke navrtke na navojke vijka čime se sprečava samoodvrtanje (sl. 5.16 pod a)).
- 2) pomoću rascepke – rascepka je provučena kroz telo vijka iznad navrtke i time se sprečava samoodvrtanje (sl. 5.16 pod b)).
- 3) pomoću žice – isto kao pod 2) samo umesto rascepke žica (na pr. za dva vijka na sl. 5.16 pod e))
- 4) pomoću dve navrtke (kontra navrtke) – praktično navrtka bliža delu koga spaja težeći da se odvrne pritiska navojke druge navrtke na navojke vijka i sprečava samoodvrtanje
- 5) umetnutim plastičnim prstenom u navrtku – koji ima ulogu kao podloška, princip objašnjen pod 1).



*Slika 5.16: Osiguranje od samoodvrtanja*

#### - Pritezanje vijčanih spojeva

Pritezanjem vijka ili navrtke momentom  $M_p$ , u vijčanom spoju se javlja aksijalna sila  $F_p$ , koja priteže spojene delove.

Potreban moment pritezanja iznosi:

$$M_p = F_p \cdot (0,16 \cdot h + \mu \cdot d_2) \text{ (Nmm)} \quad (4)$$

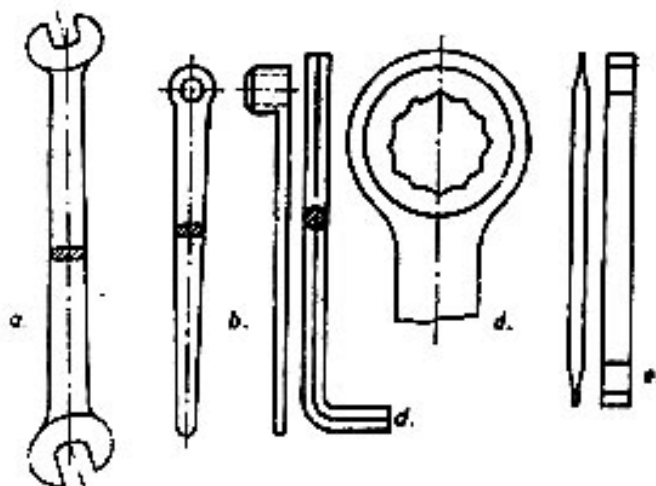
gde su:

$\mu$  (-) - koef. trenja i to za vezu Č-Č 0,1; a za vezu Č-SL 0,15.

$F_p$  (N) – sila pritezanja

$h$  (mm) – korak.

Ključevi i odvijači (sl. 5.17) služe za pritezanje i odvijanje vijčanih spojeva. Ključevi mogu biti: otvoreni (jednostrani i dvostrani (sl. 5.17 pod »a«)) i zatvoreni (šestostrani-»b«, usadni – imbus ključ-»c«, okasti-»d«, i dr.), kao i sa skalom za očitavanje momenta pritezanja.



*Slika 5.17: Vrste ključeva i odvijač »e«*

#### - Opterećenja i nosivost vijaka

Opterećenja koja su prisutna u vijcima različita su po vrsti, veličini i načinu njihovog dejstva. Ova opterećenja izazivaju napone koji kad prekorače dozvoljene vrednosti dovode do loma vijka. S toga se prema vrsti i načinu dejstva opterećenja vijci dele u nekoliko grupa.

##### *1) uzdužno opterećene vijčane veze*

U zavisnosti od toga da li se pritežu pod opterećenjem ili ne, uzdužno opterećene vijčane veze se mogu podeliti u tri grupe:

**I grupu** predstavljaju vijci koji se pritežu neopterećeni. Kao primer može poslužiti vijak za vešanje tereta prikazan na slici 5.18. Kako se vijak uvrće rukom, moment uvrćanja je neznatan i ne uzima se u proračun. Težina tereta  $G$  napreže vijak na istezanje, pa je napon na istezanje u preseku jezgra vijka:

$$\sigma_{is} = \frac{F}{A_1} = \frac{4 \cdot F}{d_3^2 \cdot \pi} \quad (5)$$

gde je:

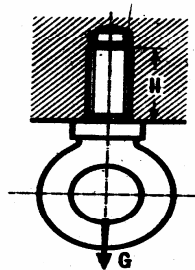
F = G – opterećenje

A<sub>1</sub> – površina preseka jezgra vijka data u tabeli 5.2

d<sub>3</sub> – prečnik jezgra vijka dat u tabeli 5.2

Provera sigurnosti vrši se upoređivanjem napona na granici tečenja vijka u najmanjem preseku (preseku jezgra A<sub>1</sub>) sa radnim naponom u ovom preseku  $\sigma_{is}$ .

$$S_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{is}} \quad (6)$$



Slika 5.18: Vijak za vešanje tereta

Tabela 5.2: Metrički navoj krupnog koraka

| Nazivni prečnik d=D u mm |     | Korak P (mm) | Srednji prečnik d <sub>2</sub> =D <sub>2</sub> | Prečnik jezgra d <sub>3</sub> (mm) | Dubina nošenja H <sub>1</sub> (mm) | Površina preseka jezgra A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> ) | Ugao nagiba navoja α (°) |
|--------------------------|-----|--------------|------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|
| I                        | II  |              |                                                |                                    |                                    |                                                           |                          |
| Stepen prioriteta        |     |              |                                                |                                    |                                    |                                                           |                          |
| 0.8                      |     | 0.20         | 0.670                                          | 0.555                              | 0.108                              | 0.241                                                     | 5.46                     |
|                          | 0.9 | 0.225        | 0.754                                          | 0.624                              | 0.122                              | 0.106                                                     | 5.46                     |
| 1                        |     | 0.25         | 0.839                                          | 0.693                              | 0.135                              | 0.379                                                     | 5.45                     |
|                          | 1.1 | 0.25         | 0.938                                          | 0.793                              | 0.135                              | 0.495                                                     | 4.86                     |
| 1.2                      |     | 0.25         | 1.038                                          | 0.893                              | 0.135                              | 0.628                                                     | 4.40                     |
|                          | 1.4 | 0.30         | 1.205                                          | 1.032                              | 0.162                              | 0.836                                                     | 4.55                     |
| 1.6                      |     | 0.35         | 1.373                                          | 1.171                              | 0.189                              | 1.080                                                     | 4.65                     |
|                          | 1.8 | 0.35         | 1.573                                          | 1.371                              | 0.189                              | 1.470                                                     | 4.05                     |
| 2                        |     | 0.40         | 1.740                                          | 1.509                              | 0.217                              | 1.790                                                     | 4.20                     |
|                          | 2.2 | 0.45         | 1.908                                          | 1.648                              | 0.244                              | 2.130                                                     | 4.30                     |
| 2.5                      |     | 0.45         | 2.208                                          | 1.948                              | 0.244                              | 2.980                                                     | 3.72                     |
| 3                        |     | 0.50         | 2.675                                          | 2.387                              | 0.271                              | 4.470                                                     | 3.42                     |
|                          | 3.5 | 0.60         | 3.110                                          | 2.764                              | 0.325                              | 6.00                                                      | 3.52                     |
| 4                        |     | 0.70         | 3.545                                          | 3.141                              | 0.379                              | 7.750                                                     | 3.60                     |
| 5                        | 4.5 | 0.75         | 4.013                                          | 3.580                              | 0.406                              | 10.1                                                      | 3.40                     |
| 6                        |     | 0.80         | 4.480                                          | 4.019                              | 0.423                              | 12.7                                                      | 3.26                     |
| 8                        |     | 1.00         | 5.350                                          | 4.773                              | 0.541                              | 17.9                                                      | 3.42                     |
| 10                       |     | 1.25         | 7.188                                          | 6.466                              | 0.677                              | 32.8                                                      | 3.18                     |
| 12                       |     | 1.50         | 9.026                                          | 8.160                              | 0.812                              | 52.3                                                      | 3.03                     |
|                          | 14  | 1.75         | 10.863                                         | 9.853                              | 0.947                              | 76.2                                                      | 2.94                     |
| 16                       |     | 2.00         | 12.701                                         | 11.546                             | 1.083                              | 104                                                       | 2.87                     |
|                          | 18  | 2.00         | 14.701                                         | 13.546                             | 1.083                              | 144                                                       | 2.48                     |
| 20                       |     | 2.50         | 16.376                                         | 14.933                             | 1.353                              | 175                                                       | 2.80                     |
|                          | 22  | 2.50         | 18.376                                         | 16.933                             | 1.453                              | 225                                                       | 2.48                     |
| 24                       |     | 2.50         | 20.376                                         | 18.933                             | 1.353                              | 282                                                       | 2.24                     |
|                          | 27  | 3.00         | 22.051                                         | 20.320                             | 1.624                              | 324                                                       | 2.48                     |

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

|    |    |      |        |        |       |      |      |
|----|----|------|--------|--------|-------|------|------|
| 30 |    | 3.00 | 25.051 | 23.320 | 1.624 | 427  | 2.18 |
|    | 33 | 3.50 | 27.727 | 25.706 | 1.894 | 519  | 2.34 |
| 36 |    | 4.00 | 30.727 | 28.706 | 1.894 | 647  | 2.08 |
|    | 39 | 4.00 | 33.402 | 31.093 | 2.165 | 759  | 2.19 |
| 42 |    | 4.50 | 36.402 | 34.093 | 2.165 | 913  | 2.00 |
|    | 45 | 4.50 | 39.077 | 36.479 | 2.436 | 1045 | 2.10 |
| 48 |    | 5.00 | 42.077 | 39.479 | 2.436 | 1224 | 1.95 |
|    | 52 | 5.00 | 44.752 | 41.866 | 2.706 | 1375 | 2.04 |
| 56 |    | 5.50 | 48.752 | 45.866 | 2.706 | 1651 | 1.87 |
|    | 60 | 5.50 | 52.428 | 49.253 | 2.977 | 1905 | 1.92 |
| 64 |    | 6.00 | 56.428 | 53.253 | 2.977 | 2227 | 1.78 |
|    | 68 | 6.00 | 60.103 | 56.639 | 3.247 | 2519 | 1.82 |
|    |    |      | 64.103 | 60.639 | 3.247 | 2890 | 1.71 |

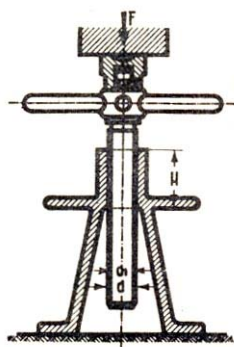
Stepen sigurnosti protiv pojave plastičnih deformacija  $S_T$  treba da je u granicama  $1,25 \div 2$ , a granica tečenja vijka u najmanjem preseku  $\sigma_T$  se određuje iz tabele 5.3. Sada se unapred usvajajući: stepen sigurnosti u propisanim granicama ( $S_T$ ), materijal za izradu vijka a satim tim i granicu tečenja ( $\sigma_T$ ) preko tablice 5.3, silu  $F$  (odnosno težinu tereta  $G$ ) kojom će vijak biti opterećen; može korišćenjem izraza (5) i (6) izračunati potrebna površina preseka jezgra vijka ( $A_1$ ), a uz upotrebu tabele 5.2 i usvojiti njegov nazivni prečnik.

**Tablica 5.3: Naponi tečenja u zavisnosti od materijala za izradu vijaka i navrtki**

| Oznaka                                                                                   | $\sigma_{M1}, R_{m1}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\sigma_T (\sigma_{0.2}) Re R_{p0.2}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $r_T$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\delta, A_5$<br>%                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nerđajući čelici</b>                                                                  |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Č.4571; Č.4572; Č.4573; Č.4574 . . . . .                                                 | 600 ... 700                                | 400                                                        | 250                        | 35                                                                                          |
| Č.4170 . . . . .                                                                         | 600 ... 750                                | 450                                                        | 280                        | 16                                                                                          |
| Č.4171 . . . . .                                                                         | 700 ... 850                                | 500                                                        | 300                        | 16                                                                                          |
| Č.4570 . . . . .                                                                         | 800 ... 950                                | 600                                                        | 360                        | 9                                                                                           |
| <b>Čelici za rad na povišenim temperaturama</b><br>( $t = 300 \dots 540^\circ\text{C}$ ) |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Č.7431; Č.7432 . . . . .                                                                 | 700 ... 850                                | 500                                                        | 300                        | 15 ... 17                                                                                   |
| Č.1430, samo za navrtke . . . . .                                                        | 550 ... 800                                | 420                                                        | 280                        | 16 ... 20                                                                                   |
| Č.0545, samo za navrtke . . . . .                                                        | 500 ... 600                                | 300                                                        | 200                        | 20                                                                                          |
| <b>Vatroootporni čelici (<math>t &gt; 540^\circ\text{C}</math>)</b>                      |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Č.4970 . . . . .                                                                         | 550 ... 700                                | 350*                                                       | 240                        | 10                                                                                          |
| Č.4578 . . . . .                                                                         | 600 ... 750                                | 300*                                                       | 180                        | 55                                                                                          |
| <b>Čelici za rad na sniženim temperaturama</b><br>( $t < -20^\circ\text{C}$ )            |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Č.4574 . . . . .                                                                         | 600 ... 750                                | 260*                                                       | 160                        | 35                                                                                          |
| Č.7430 . . . . .                                                                         | 450 ... 580                                | 300*                                                       | 200                        | 22                                                                                          |
|                                                                                          |                                            | * — žareno stanje                                          |                            |                                                                                             |
| <b>Legure aluminijuma</b>                                                                |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Aluminijum . . . . .                                                                     | 140 ... 180                                | —                                                          | —                          | 2 ... 4                                                                                     |
| AlMg1Si1 . . . . .                                                                       | 130 ... 250                                | 90                                                         | 60                         | 12 ... 10                                                                                   |
| AlMg3 . . . . .                                                                          | 180 ... 250                                | 90                                                         | 60                         | 17 ... 5                                                                                    |
| AlMg5 . . . . .                                                                          | 240 ... 300                                | 100                                                        | 70                         | 12 ... 4                                                                                    |
| AlCu5Mg2 . . . . .                                                                       | 400 ... 440                                | 250                                                        | 160                        | 10 ... 8                                                                                    |
| <b>Legure bakra</b>                                                                      |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Bakar . . . . .                                                                          | 210 ... 250                                | —                                                          | —                          | 38                                                                                          |
| Mesing: Cu58Zn42 . . . . .                                                               | 370 ... 510                                | —                                                          | —                          | 28 ... 6                                                                                    |
| Cu60Zn . . . . .                                                                         | 340 ... 480                                | —                                                          | —                          | 33 ... 12                                                                                   |
| Cu63Zn . . . . .                                                                         | 290 ... 410                                | —                                                          | —                          | 48 ... 17                                                                                   |
| Cu67Zn . . . . .                                                                         | 280 ... 500                                | —                                                          | —                          | 45 ... 6                                                                                    |
| Bronza: CuSn2; CuSn4 . . . . .                                                           | 500 ... 600                                | —                                                          | —                          | 10                                                                                          |
| Kuprodur: CuNi1Si0,5 . . . . .                                                           | 250                                        | 80                                                         | 60                         | 40                                                                                          |
| CuNi2Si0,5 . . . . .                                                                     | 300                                        | 80                                                         | 60                         | 40                                                                                          |
| CuNi4Si1 . . . . .                                                                       | 350                                        | 150                                                        | 100                        | 30                                                                                          |
| <b>Legure nikla</b>                                                                      |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Monel: NiCuFeMnAl (67/30/1.4/1/0) . . . . .                                              | 530                                        | —                                                          | —                          | — za temperature do $315^\circ\text{C}$                                                     |
| NiCuFeMnAl (66/29/0.9/0.85/2.75) . . . . .                                               | 1 000                                      | —                                                          | —                          | — vatrootporan do $870^\circ\text{C}$                                                       |
| Inkonel: Ni77Cr15Fe7 . . . . .                                                           | 560                                        | —                                                          | —                          | —                                                                                           |
| <b>Legure titana</b>                                                                     |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| TiAl4Mn14, kaljenje $880^\circ\text{C}$ ,<br>starenje $550^\circ\text{C}$ . . . . .      | 1 000 ... 1 200                            | 850 ... 1100                                               | —                          | (43 % lakši od čelika, otporan do $450^\circ\text{C}$ kratkotrajno do $700^\circ\text{C}$ ) |
| TiAl6V14 . . . . .                                                                       | 1 000 ... 1 150                            | —                                                          | —                          | —                                                                                           |
| <b>Legura berilija sa aluminijumom</b>                                                   | 400 ... 630                                | —                                                          | —                          | (4 puta lakši od čelika, jako osetljiv na koncentraciju napona)                             |
| <b>Plastične mase</b>                                                                    |                                            |                                                            |                            |                                                                                             |
| Najlon i poliamid . . . . .                                                              | 100 ... 120                                | —                                                          | —                          | —                                                                                           |
| Vinil, polietilen, PVC . . . . .                                                         | —                                          | —                                                          | —                          | —                                                                                           |

**II grupu** sačinjavaju vijci koji se pritežu pod određenim opterećenjem. Jedan od primera bio bi vijak (navojno vreteno) dizalice za teret (slika 5.19). Teret  $G$  prouzrokuje u vijku uzdužnu silu  $F = G$  koja u poprečnom preseku jezgra izaziva napon na pritisak:

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot F}{d_3^2 \cdot \pi} \quad (7)$$



**Slika 5.19:** Navojno vreteno ručne dizalice za podizanje tereta

Pored ovoga, pri dizanju tereta na vijak djeluje još i moment uvijanja, koji u jezgri vijka izaziva napon na uvijanje:

$$\tau_u = \frac{M_u}{W_0} = \frac{F \cdot d_2}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\frac{d_3^3 \cdot \pi}{16}} \quad (8)$$

U pitanju je složeno naprezanje koje se sastoji od dva napona na pritisak i na uvijanje. Radi pojednostavljenja proračuna, jezgro vijka može se dimenzionisati samo na pritisak uz povećanje uzdužne sile za 30%, pa je:

$$d_3 = 1,28 \cdot \sqrt{\frac{F}{\sigma_{p_{doz}}}}$$

gde je:

$\sigma_{p_{doz}}$  – dozvoljeni napon na pritisak koji se uzima u intervalu  $6 \cdot 10^3 \div 8 \cdot 10^3 \text{ N/cm}^2$ .

**III grupu** čine vijci koji se pritežu pod opterećenjem, ali su dinamički napregnuti uzdužnom silom promenljivog intenziteta. Oni treba da obezbede silu pritiska na dodiru spojenih delova, a time i zaptivenost spoja. Koriste se kod veze poklopca i tela cilindra pod pritiskom, kao i za spajanje cevi sa obodom.

Vijci ove grupe moraju biti jako pritegnuti pre njihovog puštanja u rad da bi se osigurala zaptivenost spoja. Stoga su oni izloženi naprezanju pre opterećenja radnom silom-prednaprezanju. Prilikom ovog pritezanja lako može doći do njihovog loma. Ovo se naročito odnosi na vijke nazivnog prečnika do 12mm, pa vijke ove grupe treba pažljivo pritezati.

Potrebna vrednost momenta pritezanja data je preko izraza (4) u poglavlju »Pritezanje vijčanih spojeva«. Za sračunavanje približne vrednosti momenta pritezanja može poslužiti obrazac:

$$M_p = 0,2 \cdot F \cdot d_3 = F_k \cdot L$$

gde su:

$F$  – uzdužna sila u vijku

$F_k$  - ručna sila na ključu



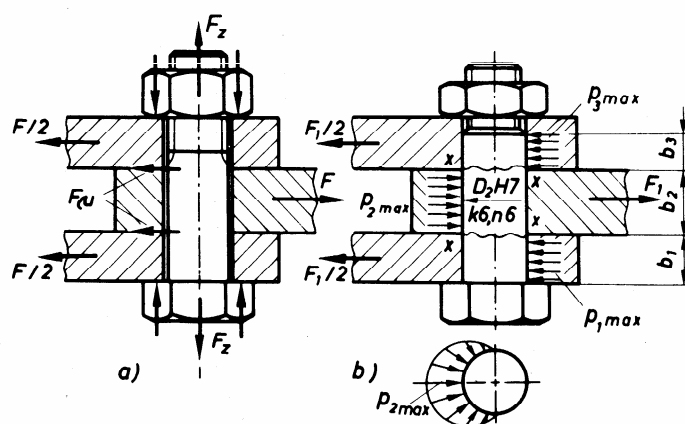
## L- radni krak ključa

Kada nastupi dejstvo radnog opterećenja (zbog prisutnog pritiska fluida u sudu ili cevi) onda će se i uzdužna sila ( $F$ ) u vijku povećati. Rezultujuća sila neće biti prost zbir ova dva dejstva, već će biti manja zbog elastičnih svojstava sklopa. Kako povišen pritisak u delovima koji ovi vijci spajaju podrazumeva i povišenu temperaturu, oni mogu biti izloženi i termičkim naprezanjima. Određivanje vrednosti sile na dodiru spojenih delova veoma je složeno zbog promene pritiska i poznavanja krutosti delova i spoju i samih vijaka.

### 2) poprečno opterećene vijčane veze

Kod ovih veza razlikujemo dve grupe:

**I grupu** sačinjavaju nepodešene ili frikционе vijčane veze. Pri tome je prečnik vijka manji od prečnika otvora delova koji se spajaju, a u koji on ulazi. Pritezanje treba da obezbedi da otpor trenja klizanju između spojenih delova bude dovoljan da se suprotstavi poprečnoj sili  $F$  (slika 5.20a).



**Slika 5.20:** Poprečno opterećene vijčane veze: a) nepodešena (frikciona), b) podešena (smicajna).

Vijak je izložen zateznoj sili  $F_z$  koja se određuje iz uslova:

$$\mu \cdot F_z \geq F$$

Sada za određivanje potrebnog prečnika jezgra  $d_3$  vijka dobijamo:

$$\mu \cdot \sigma_{is_{doz}} \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4} = S_\mu \cdot F$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_\mu \cdot F}{\mu \cdot \sigma_{is_{doz}} \cdot \pi}}$$

gde su:

$\mu$ - koeficijent trenja (u zavisnosti od vrste spojenih delova obično između 0,1 ÷ 0,2)

$\sigma_{is_{doz}}$  - dozvoljeni napon na istezanje vijka

$S_\mu$ - stepen sigurnosti protiv proklizavanja (usvaja se između 1,2 ÷ 1,8)

Zaokruživanjem dobijene vrednosti za prečnik jezgra  $d_3$  na prvu veću vrednost iz tablice 5.2 i korišćenjem iste tablice određuje se potreban nazivni prečnik vijka.

Treba istaći da je ova veza pogodna samo za mirna, jednosmerna opterećenja. Za slučaj promenljivih ili udarnih opterećenja vijak bi se odvrnuo, otpor trenja smanjio, a vezani elementi pomerili. Vijak bi tada bio izložen smicanju i savijanju, što je kao složeno opterećenje opasnije i brže bi moglo da dovede do njegovog loma.

**II grupu** sačinjavaju vijci koji mogu upravo da izdrže promenljiva i udarna opterećenja. Ova veza se još naziva i podešena jer prečnik stabla vijka odgovara prečniku otvora delova koji se spajaju (slika 5.20b). Navrtka je samo blago pritegnuta jer stablo vijka nosi poprečno opterećenje i napregnuto je na smicanje. Za izbor nazivnog prečnika ( $D$ ) vijka koristi se obrazac:

$$F_1 = \tau_{s_{doz}} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\tau_{s_{doz}} \cdot \pi}}$$

gde je:

$\tau_{s_{doz}}$  - dozvoljeni napon na smicanje

Potrebno je još i proveriti napon na pritisak po obrascima:

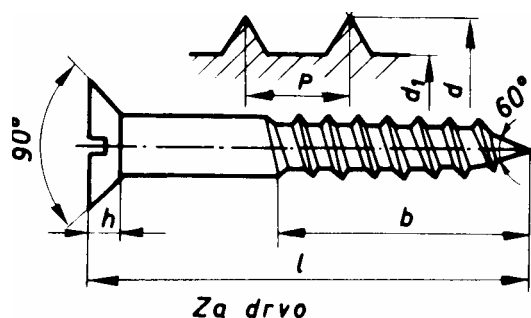
$$p_i = \frac{F_1}{2 \cdot D \cdot b_i}, \quad i = 1, 3;$$

$$p_2 = \frac{F_1}{D \cdot b_2}$$

Ovaj radni napon na pritisak treba da je manji od dozvoljenog koji iznosi  $1,2 \cdot \sigma_T$ , gde se granica tečenja ( $\sigma_T$ ) usvaja iz tablice 5.3.

### - Otpor drveta na prodiranje (izvlačenje) vijka za drvo i eksera

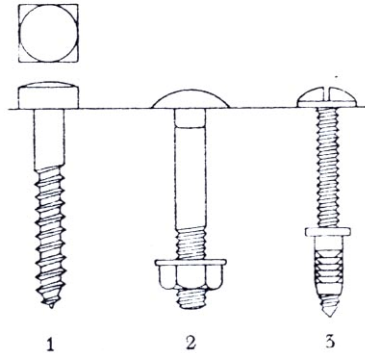
Jedan od oblika vijka za drvo prikazan je na slici 5.21. Označavanje je oblika  $dxl$ , gde je  $d$ - nazivni prečnik vijka izražen u desetim delovima (mm), a  $l$ -dužina vijka u (mm). Na pr. 30x40mm znači da je debljina vijka 3mm, a njegova dužina 40mm.



*Slika 5.21: Vijak za drvo*

Zavrtnjem vijak sam sebi narezuje navojnicu u drvetu zbog čega je moguće ostvariti čvrsti spoj spojenih delova. Da bi se izbeglo cepanje drveta usled prodiranja vijka, trebalo bi prethodno izbušiti rupu prečnika malo manjeg od prečnika stabla vijka.

Pored pomenutog vijka sa sl. 5.21 kod spajanja drvnih elemenata u konstrukcijama koriste se i drugi oblici vijaka kako je to na slici 5.22 pokazano.



**Slika 5.22:** 1) vijak za drvo sa kvadratnom glavom; 2) vijak sa mašinskom navrtkom i poluokruglom glavom; 3) specijalni vijak sa tiplom.

Prilikom prodiranja vijka za drvo (sl.5.21) ili eksera u drvo, isto pruža otpor ovom prodiranju. Isto tako, prilikom izvlačenja vijka (eksera) iz drveta javlja se otpor izvlačenju. Sila prodiranja, odnosno sila izvlačenja vijka može se predstaviti u obliku:

$$F = \mu \cdot \sigma \cdot A \quad [N] \quad (9)$$

gde su:

$\mu(-)$  – koeficijent trenja

$\sigma(N/cm^2)$  – napon u drvetu prilikom držanja vijka

$A(cm^2)$  – površina vijka u drvetu.

Veličine:  $\mu$ ,  $\sigma$  i  $A$  se menjaju prilikom prodiranja vijka u drvo i to:

$\mu$  - može opadati zbog stvaranja proširenja i time povećane glatkoće kanala po kojoj vijak klizi,

$\sigma$  - opada nakon ulaska vijka zbog proširenja (eventualnog pucanja drveta),

$A$  - raste sa dubinom prodiranja.

Izraz (9) predstavlja *izraz za silu u apsolutnom obliku* i zavisi od: vrste drveta, njegove gustine, konačne vlažnosti, temperature na kojoj se nalazi; čvorova, smolnih kanalića i sl. koji su na putu prodiranja vijka; kao i pravca prodiranja vijka (paralelno ili upravno na vlakanca). S toga se intenzitet sile prodiranja (izvlačenja) menja tokom puta prodiranja ( $s$ ) do dubine prodiranja ( $L$ ), pa je zgodno uvesti pojam srednje sile prodiranja kao:

$$F_{SR} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L F \cdot ds ,$$

pri čemu je:

$$F_{MAX} = f(s=s'), \text{ za } s' \text{ iz uslova za ekstrem } \frac{dF}{ds} = 0 .$$

Izraz za silu (9) se može prikazati u razvijenom obliku:

$$F = \mu \cdot \sigma \cdot d \cdot \pi \cdot L, \quad (10)$$

gde je:

d – prečnik vijka (eksera).

Što se tiče prečnika vijka, utvrđeno je da upotreba vijaka većeg prečnika pri optimalnom prečniku vijčanog otvora, omogućuje bolje ivično držanje vijka. Takođe, prečnik vijčanog otvora je važan parametar vijčane veze. Tačnije, podešavanjem prečnika vijčanog otvora u odnosu na prečnik izabranog vijka može se znatno uticati na jačinu vijčane veze. Rezultati nekih novijih istraživanja ukazali su da optimalni prečnik vijčanog otvora iznosi 81 do 90% od prečnika korena vijka za konvencionalnu ploču iverice, dok za OSB ploču iznosi 81 do 100%.

Izraz (10) daje mogućnost određivanja trenutne sile po jedinici dubine prodiranja (L) – *relativna dubina prodiranja*, i to u obliku:

$$\frac{F}{L} = a \cdot \gamma_0^b \cdot d \left[ \frac{N}{cm} \right] \quad (11)$$

gde su:

$\gamma_0$  – specifična težina apsolutno suvog drveta

a, b – koeficijenti koji se dobijaju regresionom analizom nakon više merenja u laboratorijskim uslovima.

Takođe, izraz (9) se može napisati u obliku:

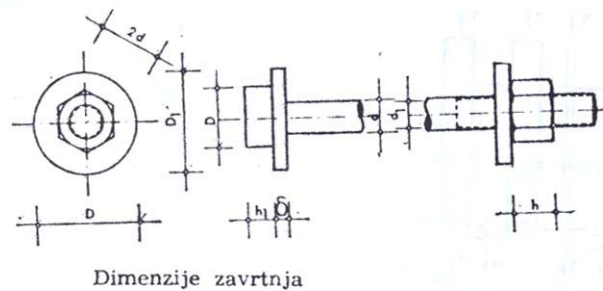
$$\frac{F}{A} = \mu \cdot \sigma \left[ \frac{N}{cm^2} \right], \quad (12)$$

i tom slučaju predstavlja jediničnu ili specifičnu dubinu prodiranja. Izrazi (11) i (12) za relativnu i specifičnu dubinu prodiranja, kao i njihove brojne vrednosti su mnogo češće prisutne u praksi, nego sam izraz (9) za apsolutnu dubinu prodiranja.

Otpor prodiranja (izvlačenja) vijka je od posebnog značaja jer je po intenzitetu mnogo veći nego svako drugo opterećenje vijka (smicanje, savijanje, uvijanje i sl.) u normalnim radnim uslovima tj. sa predviđenim radnim opterećenjima.

Kod lameliranih konstrukcija dolazi do spajanja drveta sa ciljem povećanja debljine ili dužine pojedinih nosećih elemenata, i onda se koriste vijci za podešenu vezu posebnog oblika. Napravljeni su od čelika, koji obično na oba, ili samo na jednom kraju imaju podlošku i navrtku. U ovom drugom slučaju je na drugom kraju izradjena šestougona ili kvadratna glava ispod koje se stavlja podloška.

Izgled ovakvog vijka dat je na slici 5.23.



**Slika 5.23:** Izgled vijka za podešenu vezu

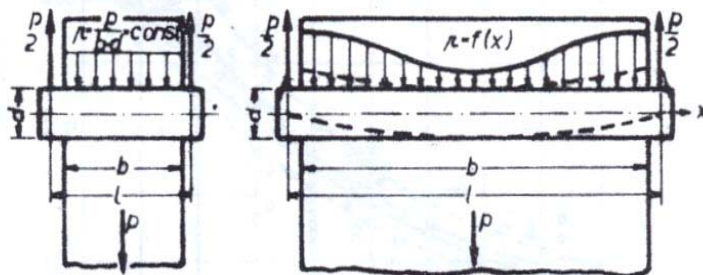
Ovakav vijak kao element veze može biti izložen:

- zatezanju,
- savijanju i smicanju.

Ako je vijak pritegnut nekom silom, koja se postiže zavrtnjem navrtke, onda će u dodirnoj površini izazvati pritisak, a sam vijak biće opterećen na zatezanje.

Ova veza može vremenom da popusti zbog utezanja drveta pa je zato povremeno potrebno pomalo pritezati. Zbog toga se između drveta i glave vijka, odnosno navrtke, postavljaju elastični prstenovi ili ploče koje ostvaruju stalan pritisak.

Raspored naprezanja na omotaču rupe zavisi od stepena vitkosti vijka ( $\lambda = \frac{l}{d}$ ), tj. odnosa njegove dužine i prečnika, a na sl.5.24 prikazani su kratki i dugi vijak.



**Slika 5.24:** Šema raspodele pritiska na omotač rupe kod kratkog i dugog vijka

Kratkim vijkom smatra se onaj koji ima stepen vitkosti manji od 3 ( $\lambda < 3$ ) i nema značajnije razlike u deformaciji na početku rupe, što znači da je pritisak na omotaču rupe ravnomerno raspoređen po celoj debljini drveta (b), i tako ostaje sve dok ne nastupi lom. Srednji pritisak (p) na omotač rupe iskazuje se odnosom:

$$p = \frac{P}{b \cdot d}$$

gde je:

P – ukupna sila svedena na taj vijak (bolcnu)  
b – debljina drveta  
d – prečnik zavrtnja

Dugi vijak ( $\lambda > 3$ ) elastično se savija ili ostaje trajno deformisan pod opterećenjem. Usled toga raspodela pritiska na omotač rupe po podužnoj osovini vijka nije više konstantna. Granica između kratkog i dugog vijka smatra se kritičnim stepenom vitkosti.

#### 5.1.2.4 Opruge

Opruge služe za elastično vezivanje mašinskih elemenata. Primjenjuju se i za:

- merenje sile, mase ili momenta kod: dinamometara, vaga i momentnih ključeva
- za elastično međusobno pritiskanje delova kod: brava, klizača, poklopaca i sl.
- za akumulaciju energije kod: časovnika, oružja, igračaka i dr.
- za ograničenje najveće sile tj. pritiska kod npr. ventila sigurnosti ili momenta uvijanja kod spojnica sigurnosti.

U zavisnosti od oblika i načina opterećenja opruge mogu biti izložene: savijanju (fleksiji), uvijanju (torziji) ili površinskom pritisku. Otuda i podela opruga na (sl 5.25):

- fleksione
- torzione
- prstenaste

Kako opruge imaju mogućnost akumulacije energije, deformacioni rad kao mera te akumulacione energije, proporcionalan je sili odnosno momentu savijanja ili uvijanja (šrafirana površina ispod krivih na slici 5.26), pa je u opštem slučaju:

$$A = \int_0^{f_K} F \cdot df; \quad \text{ili} \quad A = \int_0^{\varphi_K} M \cdot d\varphi.$$

Ako je karakteristika elastičnosti opruge pravolinijska biće:

$$A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot f; \quad \text{ili} \quad A = \frac{1}{2} \cdot M \cdot \varphi,$$

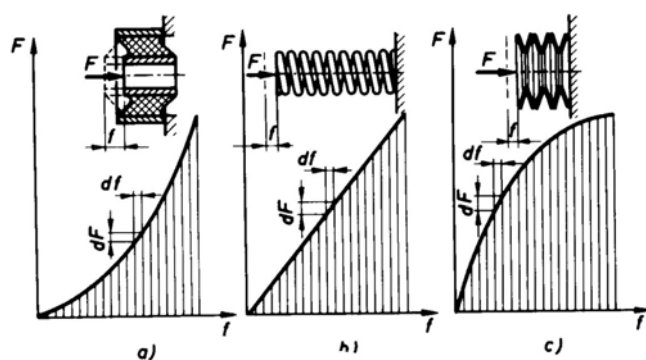
gde je krutost (c) definisana kao:

$$c = \frac{dF}{df}; \quad \text{ili} \quad c_\varphi = \frac{dM}{d\varphi}$$

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

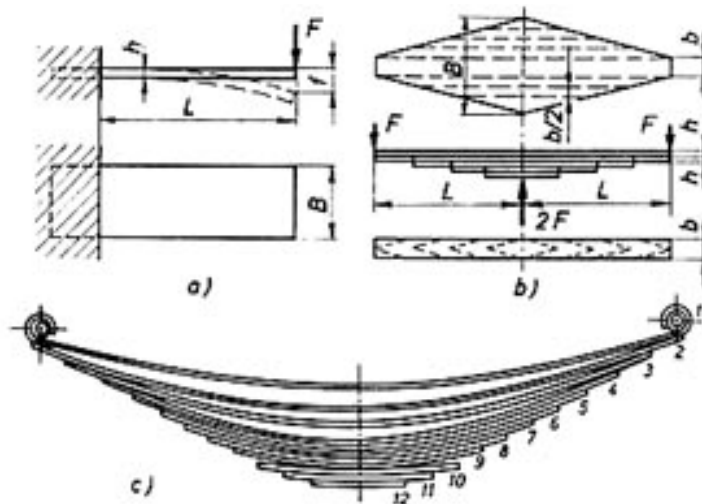
| Podela                    |                    | Skica | Krutost                                                | Napon                                | Deformacioni rad                             |
|---------------------------|--------------------|-------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| Opruge izložene savijanju | Lisnate opruge     |       | $c = \frac{bh^3}{12 L^3} E$                            | $\sigma = \frac{6 FL}{bh^2}$         | $A = \frac{bhL\sigma^2}{18 E}$               |
|                           | Gibnjevi           |       | $c = \frac{zhb^3}{4 L^3} E$                            | $\sigma = \frac{6 FL}{zbh^2}$        | $A = \frac{\zeta zbhL\sigma^2}{18 E}$        |
|                           | Zavojne opruge     |       | $c_p = \frac{I E}{l_p}$                                | $\sigma = \gamma \frac{M}{W}$        | $A = \frac{l_p W^2 \sigma^2}{2 EI \gamma^2}$ |
|                           | Spiralne opruge    |       | $c_p = \frac{I E}{l_p}$                                | $\sigma = \gamma \frac{M}{W}$        | $A = \frac{l_p W^2 \sigma^2}{2 EI \gamma^2}$ |
| Opruge izložene uvijanju  | Cilindrične zavoje |       | $c = \frac{d G}{8 z_1 K^3}$                            | $\tau = \gamma \frac{8 FD}{\pi d^3}$ | $A = \frac{z_1 D d^2 \pi^2}{16 G \gamma^2}$  |
|                           |                    |       | $c = \frac{d G}{8 z_1 K^3}$                            | $\tau = \gamma \frac{8 FD}{\pi d^3}$ | $A = \frac{z_1 D d^2 \pi^2}{16 G \gamma^2}$  |
|                           |                    |       | $c = \frac{h^3 G}{z_1 D^3 \gamma^3}$                   | $\tau = \gamma \frac{8 FD}{\pi d^3}$ | $A = \frac{z_1 D d^2 \pi^2}{16 G \gamma^2}$  |
|                           | Konične zavoje     |       | $c = \frac{h^3 G}{z_1 D^3 \gamma^3}$                   | $\tau = \gamma \frac{8 FD}{\pi d^3}$ | $A = \frac{z_1 D d^2 \pi^2}{16 G \gamma^2}$  |
|                           |                    |       | $c = \frac{h^3 G}{z_1 D^3 \gamma^3}$                   | $\tau = \gamma \frac{8 FD}{\pi d^3}$ | $A = \frac{z_1 D d^2 \pi^2}{16 G \gamma^2}$  |
|                           |                    |       | $c = \frac{h^3 G}{z_1 D^3 \gamma^3}$                   | $\tau = \gamma \frac{8 FD}{\pi d^3}$ | $A = \frac{z_1 D d^2 \pi^2}{16 G \gamma^2}$  |
| Složeno napregnute opruge | Pločaste opruge    |       | Usled nasledanja zavoja krutost i napon su promenljivi |                                      |                                              |
|                           | Prstenaste opruge  |       |                                                        |                                      |                                              |

**Slika 5.25:** Podela i neki parametri opruga



**Slika 5.26:** Karakteristike opruga: a) progresivna, b) pravolinijska, c) degressivna

**Fleksione** opruge se dele na: proste lisnate – (mala opterećenja, a velika deformabilnost, sl. 5.27a), složene lisnate (gibnjevi -velika opterećenja



**Slika 5.27:** Lisnata opruga: a) osnovni oblik konzole, b) osnovni oblik gibnja, c) listovi gibnja pre sklapanja

kod šinskih, drumskih vozila, presa i sl., sl. 5.27c), tanjiraste (kod npr. hidrauličnih postrojenja), zavojne (imaju ugaonu deformaciju i prisutne su kod uređaja za navijanje: satovi, igračke i sl.). Kod proste lisnate opruge (sl. 5.27a) ugib na mestu dejstva sile je:

$$f = \frac{F}{c} = \frac{L^3}{3EI} \cdot F; \quad c = \frac{3EI}{L^3}$$

gde je:  $c$  – krutost opruge,  $E$  – modul elastičnosti,  $I = Bh^3/12$  – moment inercije preseka lista (konzole). Radi ujednačavanja naponskog stanja u svim presecima konzole i povećanja deformacija, opruga se može izraditi od lista promenljive širine. Na slici 5.27b data je dvostruka konzola sa zasečenim krajevima, te se deformacija na mestu dejstva sile  $F$  i krutost mogu odrediti pomoću izraza:

$$f = \frac{F}{c} = \frac{4L^3\xi}{EBh^3} \cdot F; \quad c = \frac{EBh^3}{4L^3\xi};$$

gde je:  $\xi = \frac{3B}{2B + b}$

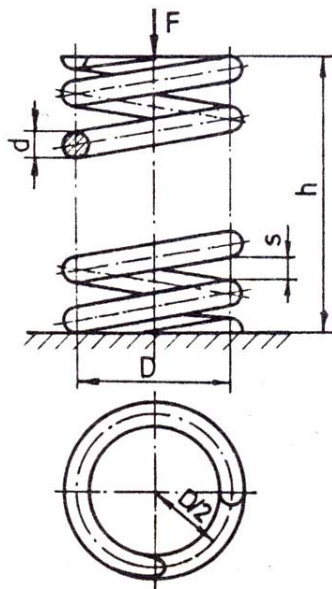
Ako se ovaj oblik opruge podeli na trake (listove) širine  $b$  ( $B = zb$ ) i listovi slože, dobija se osnovni oblik gibnja.

**Torzione** obuhvataju: štapove, navojne opruge i teleskopske.

- 1) štapovi - obuhvataju male ugaone deformacije
- 2) cilindrične zavojne (sl. 5.28) - imaju najširu primenu i to kod: spojnice, ventila motora, uopšte u transportnim sredstvima.



- 3) teleskopske - za velika opterećenja (kod odbojnika vagona i sl.). Obično imaju konični izgled (sl. 5.29)



**Slika 5.28:** Cilindrična zavojna opruga

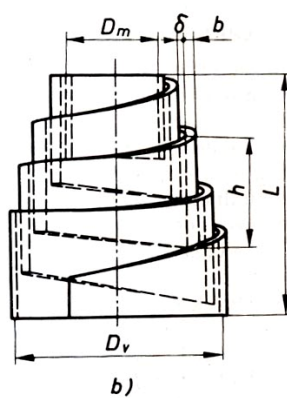
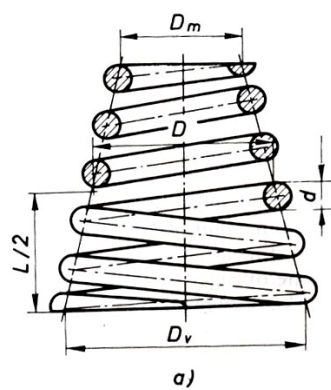
Zavisnost sile i deformacije cilindričnih torzionih zavojnih opruga je pravolinijska, a veza između sile i deformacije ako opruga nije prednapregnuta je:

$$f = \frac{F}{c} = \frac{8 \cdot z_a \cdot K^3}{Gd} F; \quad c = \frac{Gd}{8 \cdot z_a \cdot K^3}; \quad K = \frac{D}{d}$$

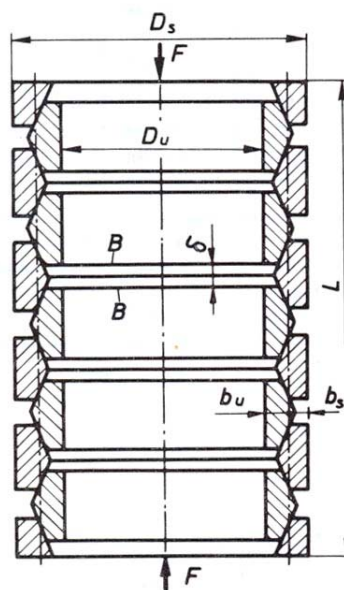
gde je: D – prečnik opruge, d - prečnik žice od koje je opruga izradjena, G-modul klizanja, K- odnos motanja štapa opruge.

Na slici 5.29 prikazane su konično zavojne opruge. Ako zavojak manjeg prečnika ulazi u zavojak većeg prečnika, opruga je teleskopska (sl. 5.29b)

**Prstenaste** opruge (sl. 5.30) služe za amortizaciju opterećenja tako što se pod dejstvom sile pritiska spoljašnji prstenovi istežu, a unutrašnji skupljaju. Odlikuju se velikim prigušenjem udarne sile i malim deformacijama pod dejstvom velikih sila. Koriste se za prigušivanje udarnih sila, na primer kod: odbojnika vozila, veze uređaja za hvatanje tereta i užadi kod nekih dizalično-transportnih mašina i sl.



Slika 5.29: Konična zavojna opruga



Slika 5.30: Prstenasta opruga

**- Materijal za opruge**

Usled potrebe za velikim deformacionim radom i velikim deformacijama, opruge imaju velike napone, te materijal od kojih se izrađuju mora biti izuzetno elastičan i čvrst.

Za izradu opruga koriste se čelici sa velikim sadržajem C (do 1,1%), legirani sa: Si, Mn, Cr, Va; a da bi im se povećala statička i dinamička čvrstoća pribegava se termičkim obradama (kaljenju, poboljšanju i sl.) i površinskim (cementacija, sačmarenje i sl.). Tako se za gibnjeve i opruge dosta primenjuje čelici za poboljšanje legirani sa Si : Č.2131, Č.2132, Č.2133, Č.2134; dok se za izradu izrazito dinamičkih opruga koriste legirani čelici kod kojih je Cr najuticajniji element: Č.4230, Č.4830 i Č.4831.

Kao polufabrikati za izradu opruga koriste se: žice, šipke ili trake vruće ili hladno valjane, ili hladno vučene. Zavisno od veličine i polaznog polufabrikata, opruge se mogu oblikovati u hladnom i toplom stanju. Tako se, na primer, cilindrično zavojne opruge izrađuju navijanjem hladno vučene ili brušene zice oko cilindra koji u stvari predstavlja unutrašnji prečnik opruge.

## 5.2 ELEMENTI ZA PRENOS SNAGE

Kako je već u uvodnom delu napomenuto, prenosnici koje dobrim delom sačinjavaju elementi za prenos snage, prenose energiju od pogonske do radne mašine i prilagođavaju je njenim potrebama. Uvodjenje prenosnika je neophodno s obzirom na rešavanje različitih zadataka koji se postavljaju pred radne organe mašina. Na primer: kod alatnih mašina potrebna je promena brzine, a negde i smera, glavnog i pomoćnog kretanja kao i raspoložive snage na glavnom vretenu; kod transportnih mašina neophodno je omogućiti promenu brzine i pravca kretanja, a kod vučnih mašina omogućiti promenu obrtnog momenta uz mogućnost povećanja na vodećim točkovima nekoliko puta, itd.

Prenosnici mogu biti: mehanički, hidraulični, pneumatski i elektromagnetni. Ovde će biti govora samo o mehaničkim prenosnicima snage.

Mehanički prenosnici mogu biti:

- 1) sa ozubljenjem: zupčasti, pužasti i lančani.
- 2) putem trenja: kaišni i frikcioni.

Kod svakog prenosnika razlikuje se **pogonsko** ili ulazno vratilo, koje povezuje prenosnik sa pogonskom mašinom i **gonjeno** ili izlazno vratilo koje povezuje prenosnik sa radnom mašinom.

Glavne karakteristike prenosnika su:

*1.) Radni prenosni odnos :*

$$i = \frac{n_{ul}}{n_{iz}} = \frac{\omega_{ul}}{\omega_{iz}} = \frac{v/r_{oul}}{v/r_{oiz}} = \frac{r_{oiz}}{r_{oul}} = \frac{d_{oiz}}{d_{oul}} = \frac{m \cdot Z_{iz}}{m \cdot Z_{ul}} = \frac{Z_{iz}}{Z_{ul}}$$

\* desno od znaka jednakosti važi samo za zupčaste prenosnike  
gde su:

$r_0$  – poluprečnik podeonog kruga

$m$  – modul zupčanika

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

z - br. zubaca zupčanika

Analizirajući br. obrta na ulazu i izlazu iz prenosnika dolazi se do sledećeg:

- ako se broj obrta smanjuje  $n_{iz} < n_{ul}$ , a time  $i > 1$  prenosnik nazivamo **reduktorom**.
- ako se broj obrta povećava  $n_{izl} > n_{ul}$ , a time  $i < 1$  prenosnik nazivamo **multiplikatirom**.

Izračunava se kao proizvod parcijalnih prenosnih odnosa (n) parova koji čine prenosnik:

$$i = \prod_{j=1}^n i_j$$

2.) *Stepen iskorišćenja*

$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}}$$

- za meru opterećenja kod obrtnog kretanja uzima se obrtni moment pa je:

$$M = \frac{P}{\omega} ; \omega = 2\pi n, \text{ za } n \left[ \frac{\text{obrta}}{s} \right]$$
$$; \omega = \pi n/30, \text{ za } n \left[ \frac{\text{obrta}}{\text{min}} \right]$$

$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{M_{iz} \cdot n_{iz}}{M_{ul} \cdot n_{ul}} = \frac{M_{iz}}{M_{ul}} \cdot \frac{1}{i} \rightarrow M_{iz} = M_{ul} \cdot i \cdot \eta$$

Stepen iskorišćenja prenosnika se, takodje, može predstaviti kao proizvod parcijalnih stepena iskorišćenja mašinskih elemenata koji sačinjavaju prenosnik:

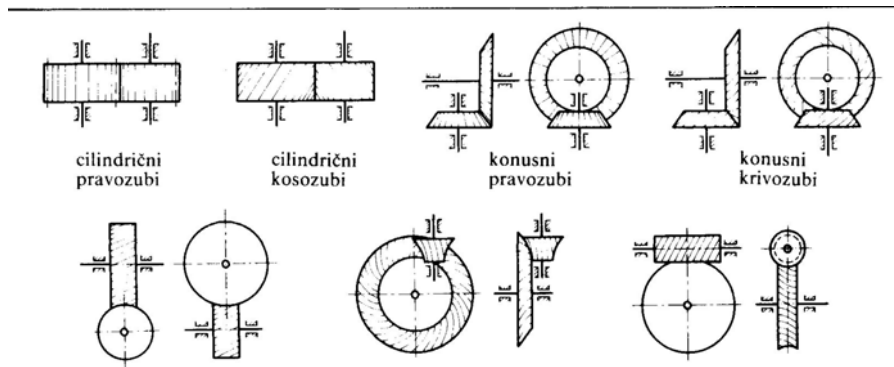
$$\eta = \prod_{j=1}^n \eta_j$$

Ukoliko je samo jedan par prisutan u prenosniku, ulaz odgovara pogonskom, a izlaz gonjenom elementu.

### 5.2.1 ZUPČASTI PAROVI

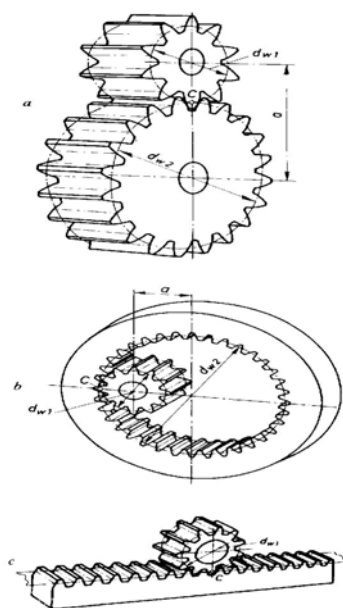
Prenošenje snage ostvaruje se neposrednim dodirrom pogonskog i gonjenog zupčanika. Mogu biti (sl. 5.31):

- 1) cilindrični - ose vratila paralelne
- 2) konusni - ose vratila se seku (upravne ili pod uglom)
- 3) pužni - ose vratila se mimoilaze



**Slika 5.31:** Vrste i karakteristike zupčastih parova

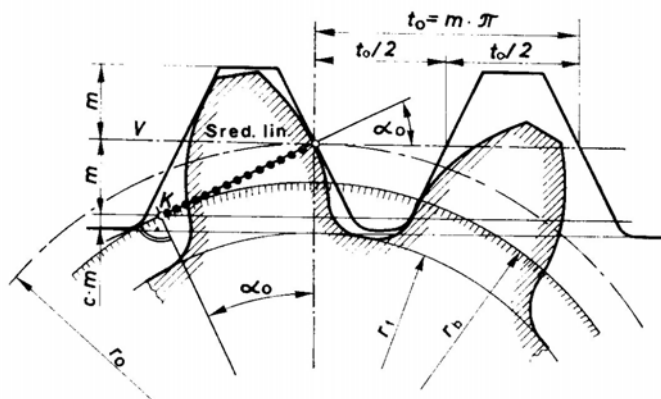
Cilindrični zupčanici mogu biti sa: pravim, kosim i strelastim zubcima.  
Prema kinematskoj površini (sl. 5.32) cilindrični zupčanici mogu biti: a) spoljašnji, b) unutrašnji, c) ravni.



**Slika 5.32:** Kinematske površine cilindričnih zupčastih parova

#### - Geometrijske mere cilindričnih zupčanika

Linija koju opisuje tačka dodira profila zubaca u toku sprežanja naziva se dodirnica profila (sl. 5.33) tačkasti deo linije do tačke K).



**Slika 5.33:** Osnovne veličine pri sprezanju zupčanika

Modul ( $m$ ) je polazni podatak za određivanje geometrijske veličine zupčanika. Mogu se sprežati samo zupčanici istih vrednosti modula. Standardni moduli dati su u SRPS M.C1.015.

Korak profila ( $t_0$ ) je rastojanje istog mesta na profilu dva susedna zupca mereno po tangenti podeonog kruga čiji je prečnik ( $d_0 = 2r_0$ ).

Polovina koraka ( $t_0/2$ ) je širina zupca odnosno medjuzublja po pravoj liniji (osnovnoj liniji zupčaste letve) – sl. 5.33.

Kako je obim:  $O = d_0 \cdot \pi$  ili  $O = t_0 \cdot z$  biće:

$$d_0 = \frac{t_0}{\pi} \cdot z = m \cdot z$$

Sada je:

- |                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| - prečnik temena zubaca   | $d_t = d_0 + 2m$                |
| - prečnik podnožja zubaca | $d_p = d_0 - 2,4m$              |
| - osnovni prečnik         | $d_b = d_0 \cdot \cos \alpha_0$ |

čija je tangenta dodirnica profila, a ( $\alpha_0$ ) ugao dodirnice na osnovnoj (podeonoj) kružnici, za standardni profil  $\alpha_n = 20^\circ$ .

Oblik profila zubaca je evolventa kruga koja nastaje kotrljanjem po osnovnoj kružnici prave čije tačke opisuju evolventu.

Osno rastojanje:

$$a = \frac{d_{01} \pm d_{02}}{2}$$

gde je:

- + - za sprežanje zupčanika sa spoljašnjim ozubljenjem
- - sprežanje zupčanika sa jednim spoljašnjim i jednim unutrašnjim ozubljenjem

Kod cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima bočne linije zubaca paralelne su sa osama zupčanika, dok kod kosih zaklapaju ugao ( $\beta$ ) manji od  $30^\circ$ , jer se sa povećanjem ovog ugla povećava i aksijalna sila. S toga se kod većih opterećenja upotrebljavaju

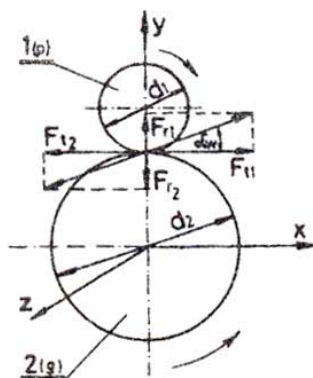
## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

zupčanici sa strelastim zupcima, kako bi se aksijalne sile stvorene sa jedne i druge strane zupca poništile.

### **- Analiza opterećenja kod cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima**

Pretpostavlja se da su težine zupčanika mnogo manje u odnosu na sile koje ih opterećuju i zato se ne uzimaju u razmatranje. Analizirajmo silu kojom jedan zubac pogonskog zupčanika (1) deluje na zubac gonjenog (2) sa kojim se spreže (sl. 5.34). Sila je upravna na bok zupca (ovde nisu nacrtani zbog preglednosti crteža), i zaklapa sa tangentom podeonih krugova, koji su prikazani na slici 5.34 da se dodiruju, ugao dodirnice  $\alpha_w$ .

Kod pogonskog zupčanika (p) je obimna sila ( $F_t$ ) usmerena suprotno smeru njegove rotacije, a kod gonjenog (g) u pravcu rotacije (sl. 5.34).



**Slika 5.34:** Opterećenje cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima

$$F_{t1} = F_{t2}$$
$$F_{t1} = \frac{2M_1}{d_1}; \quad F_{t2} = \frac{2M_2}{d_2}$$

gde je:  $F_t$  – tangencijalna sila

$$F_{r1} = F_{r2}$$
$$F_{r1} = F_{t1} \cdot \tan \alpha_w; \quad F_{r2} = F_{t2} \cdot \tan \alpha_w$$

gde je:

$F_r$  – radijalna sila

$\alpha_w$  – ugao dodirnice po kinematskoj kružnici koja predstavlja geometrijsko mesto dodira bokova zubaca pogonskog i gonjenog zupčanika.

**- Analiza opterećenja kod cilindričnih zupčanika sa kosim zupcima**

Kod kosozubih zupčanih parova normalna sila ( $F_n$ ) i njene komponente na podeonoj kružnici ( $F_n'$ ,  $F_t$ ,  $F_a$  i  $F_r$ ) određuju se iz odnosa prikazanih na slici 5.35 i iznose:

$$F_n = \frac{F_n'}{\cos \beta} = \frac{F_t}{\cos \alpha_n \cos \beta}$$

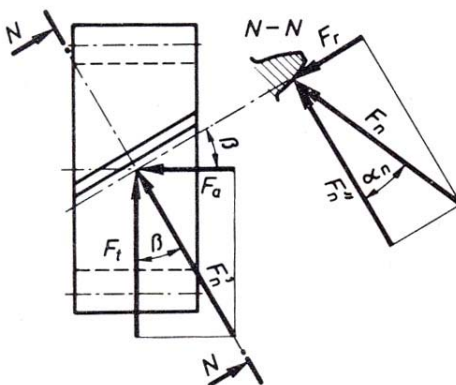
$$F_r = F_n \cdot \sin \alpha_n = \frac{F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta$$

gde je:

$\alpha_n = 20^\circ$  ugao dodirnice za standardni profil

$\beta (^\circ)$  - ugao profila zubca prema osi zupčanika



**Slika 5.35:** Komponente normalne sile na zupcima kosozubih zupčanika

Obimna sila ( $F_t$ ) deluje na gonjeni zupčanik u smeru obimne brzine u tački dodira, a na pogonski u suprotnom, dok radijalne komponente ( $F_r$ ) imaju smer ka središtima zupčanika. Smer aksijalne sile kod kosozubih zupčanika je određen smerom obimne sile sa kojom daje rezultantu (silu  $F_n'$  na sl.5.35), upravnu na pravac nagiba.

Usled navedenih sila na zupčanicima, vratila su opterećena obrtnim momentima  $M$  i radijalnim normalnim silama, a kod kosozubih i ekscentričnom aksijalnom silom koja izaziva spreg u aksijalnoj ravni ( $M_a = F_a r$ ) i silu  $F_a$  duž ose vratila. Zbog ove aksijalne sile koja se javlja pri sprezanju kosozubih cilindričnih zupčanika, treba izabrati ležaj sa aksijalnim svojstvima.

**Konusni zupčasti parovi**

Kod konusnih zupčastih parova ose vratila se seku (sl. 5.36). Prenosni odnos biće:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \tan \delta_2$$

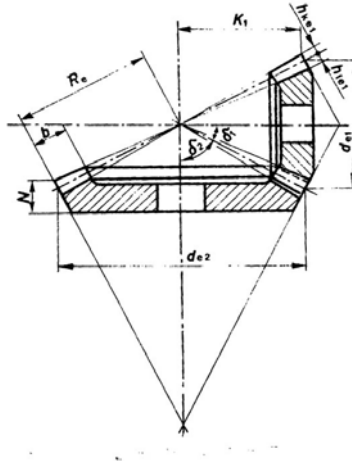
Ugao između ose zupca i ose zupčanika (1) - ( $\delta_1$ ) biće određen kao:



$$\delta_1 = \gamma - \delta_2$$

gde je:

$\gamma$  - ugao između osa i kad su normalne iznosi  $\gamma=90^\circ$ .



**Slika 5.36:** Sprezanje konusnih zupčanika

### Pužni par

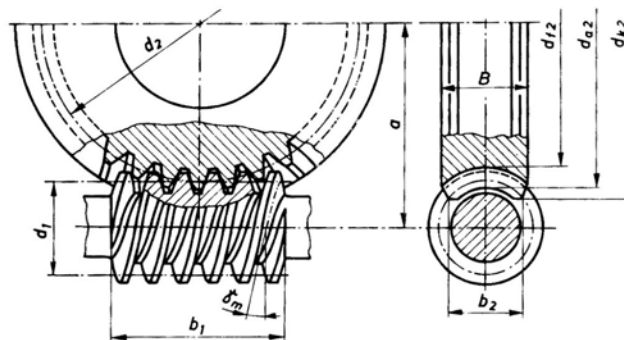
Kod pužnog para ose vratila se mimoilaze (sl. 5.37) i prenosni odnos je:  $i > 5$ . Puž se izrađuje obično izjedna sa vratilom, a sprezanje sa zupčanicom odgovara principu zupčanik - zupčasta letva ( $\alpha_0 = \alpha_n = 20^\circ$ , visina zupca  $h = 2,2m$ ):

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

gde su:

$z_1$  - br. hodova puža, ceo br.  $< 5$ , da bi mere pužnog zupčanika bile manje i da bi se omogućilo sprezanje sa pužem

$z_2$  - br. zubaca zupčanika



**Slika 5.37:** Sprezanje puža sa pužnim zupčanicom

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Ukoliko je prenosni odnos manji br. hodova mora biti veći, a time i stepen iskorišćenja. Prečnici: osnovnog, temenog i podnožnog kruga puža (1) i zupčanika (2) su:

$$d_{01} = m \cdot q, \quad d_{02} = m \cdot z_2$$

gde je:

$q = 8 \div 16$  - br. modula u prečniku podeonog kruga.

$$d_{t1} = d_{01} + 2 \cdot m, \quad d_{t2} = d_{02} + 2 \cdot m,$$

$$d_{p1} = d_{01} - 2,2 \cdot m, \quad d_{p2} = d_{02} + 2,2 \cdot m.$$

### **- Materijal za izradu zupčanika**

Koriste se uglavnom konstruktivni čelici: Č.0545, Č.0645 i sl., kao i ugljeni legirani i to za poboljšanje: Č.1330, Č.1530, Č.4130 i za cementaciju: Č.1120, Č.1220, Č.4120 i Č.4320.

Osnovni kriterijumi - potrebna čvrstoća bokova i podnožja zupca.

Zupčanike od konstruktivnih čelika jeftinije je koristiti za manja opterećenja, kao i čelike za poboljšanje gde je dovoljna manja čvrstoća bokova zubaca; dok se čelici za cementaciju koriste gde je potrebna velika čvrstoća bokova i podnožja zubaca.

Za velike gabarite koriste se liveni materijali: ČL.0500, ČL.0600, SL.20, ili se upotrebljavaju samo za telo zupčanika na koje se postavlja venac od čelika, bronzе ili Al za pužne zupčanike.

### **- Vrste zupčastih prenosnika**

Ekonomičnost konstrukcije određuje prenosni odnos, tako da je obično do:

$i = 6$  - jednostepeni

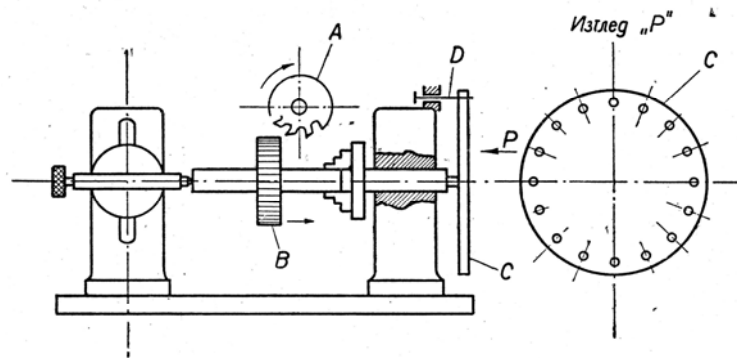
$i = 25$  - dvostepeni

$i > 25$  - višestepeni

### **5.2.1.1 Izrada zupčanika**

Postoje dva osnovna načina izrade zupčanika: glodanjem i rendisanjem.

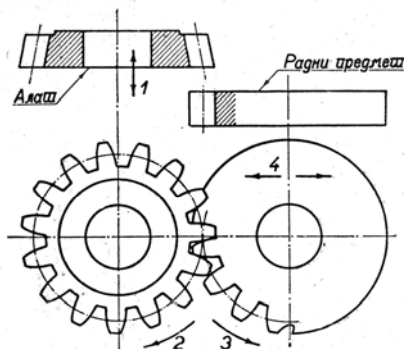
Glodanjem (sl. 5.38) tako što se alat (glodalo) okreće, a predmet rada (zupčanik u nastajanju) zajedno sa podeonim aparatom (pozicija C) okrene za jedan korak profila. Predmet rada (obradak) se primakne alatu koji izvrši prosecanje medjuzublja, potom se vrati se u prvobitni položaj i ponovo zaokrene za korak profila, koji definiše podeoni aparat, kako bi se izvršilo narezivanje sledećeg medjuzublja.



**Slika 5.38:** Izrada zupčanika glodanjem

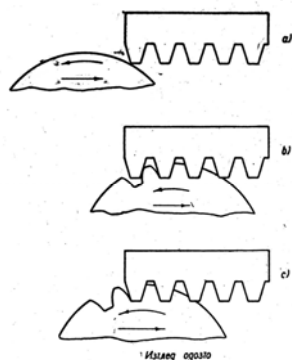
Rendisanjem postoje dve metode:

- a) po metodi Fellows - alat (rende) oblika zupčanika se kreće vertikalno naniže u radnom hodu izvedeći rezanje prethodno se radijalno primakavši do određene dubine (sl. 5.39). Pre povratnog hoda predmet rada se radijalno odmiče od alata da se ne bi oštetila obradjena površina.



**Slika 5.39:** Izrada zupčanika rendisanjem – postupak Fellows

- b) po metodi Maag-a - alat je zupčasta letva koja horizontalno obavlja radni hod vršeći rezanje kod pravih, a pod uglom za kose zubce (sl.5.40). Obradak izvodi lagano obrtno pri istovremenom translatornom kretanju duž alata. Tako se ostvaruje relativno kotrljanje izmedju zubaca alata i obratka što omogućuje rezanje.

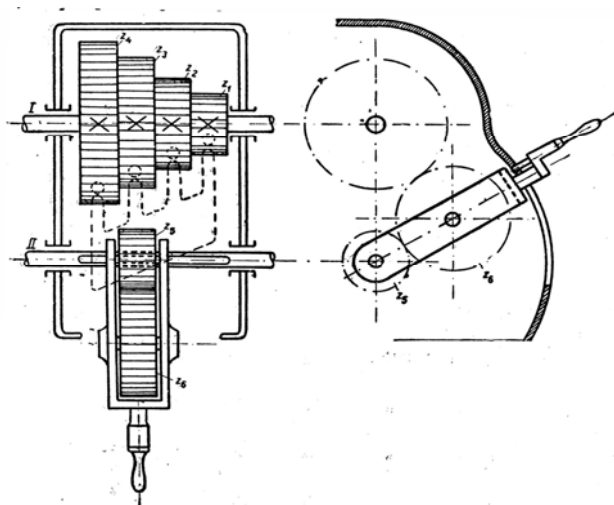


**Slika 5.40:** Izrada zupčanika rendisanjem – postupak Maag

Kako je br. zubaca alata manji od obratka to neće biti obradjeni svi zupci pri pomeranju obratka s leva na desno. Zato je potrebno da se on translatorno vrati u levo, bez obrtanja, dok za to vreme alat miruje iznad obratka.

### 5.2.1.2 Nortonov prenosnik

Služi za kaskadno menjanje br. obrta gonjenog vratila (sl. 5.41). Primena kod regulisanja brzine pomoćnog obrtnog kretanja.



**Slika 5.41:** Nortonov prenosnik

Na vratilu I nalazi se grupa zupčanika (u slučaju na slici 5.41), koji su čvrsto (klinom) vezani za njega. Na vratilu II je zupčanik  $Z_5$ , koji može da se pomera duž njega po uzdužnom klinu.  $Z_5$  je u vezi sa zupčanicom  $Z_6$  preko zajedničkog okova sa ručicom, tako da se ova grupa pomera duž vratila II. Prebacivanjem ručice naviše zupčanik  $Z_6$  se može dovesti u vezu sa ma kojim od 4 zupčanika na vratilu I, i time se dobijaju različiti prenosni odnosi na koje ne utiče umetnuti zupčanik  $Z_6$ . Naime prenosni odnosi bili bi:

$i_1 = \frac{z_5}{z_1}; i_2 = \frac{z_5}{z_2}; i_3 = \frac{z_5}{z_3}; i_4 = \frac{z_5}{z_4}$ . Da bi se ručica sa  $Z_6$  lakše dovela u željeni položaj i osigurala u njemu, postoji otvor za osigurač ručice čime se ona fiksira.

### 5.2.1.3 Podmazivanje pokretnih elemenata prenosnika

Može biti potapanjem tako što su donji delovi zupčanika uronjeni u ulje, a gornji se podmazuju njihovim bućkanjem ili posebnim kružnim zupčanicom uronjenim u ulje ili prskanjem kružnom obrtnom pločom. Potrebna količina ulja je 5÷10 litara po 1kW izgubljene snage.

Podmazivanje uljem pod pritiskom ostvaruje se uljnom grupom koja se sastoji iz: pumpe, prečistača, hladnjaka, pribora za razvodjenje i kontrolu i rezervoara. Količina ulja prema širini zupčanika ("b" u mm) računa se preko formule

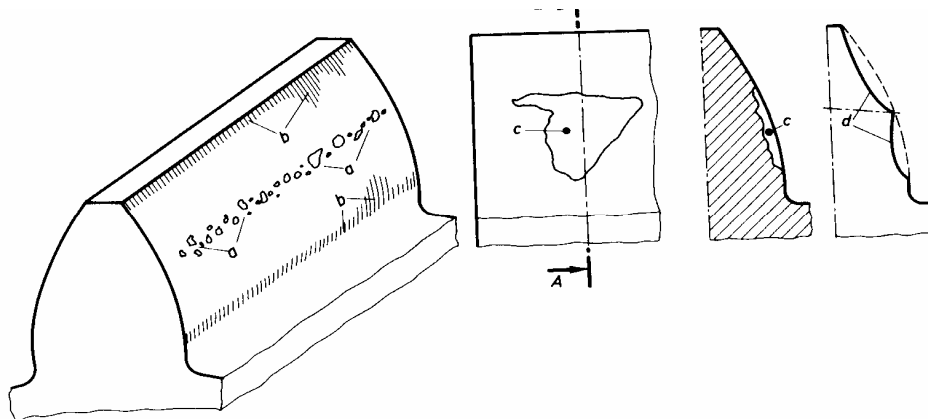
$\dot{Q} = (0,8 \div 1) \cdot b [l / \text{min}]$ . Dovod ulja ostvaruje se brizgaljkama, čiji su najjednostavniji oblici cevi sa rupicama prečnika 2÷2,5mm.

### 5.2.1.4 Oblici razaranja bokova zubaca

Usled nedovoljnog podmazivanja i temperaturnih dilatacija, odstupanja mera i oblika, nepravilne montaže i sl., radni naponi mogu postaći veći od čvrstoće zubaca što dovodi do različitih oblika njihovog razaranja.

- 1) *Razor* (rupice) – slika 5.42 pod a, predstavlja glavni vid razaranja kao posledica zamora materijala, a ispoljava se u pojavi rupica nepravilnog oblika različitih veličina i dubina i to posebno oko sredine i prema podnožju zupca. Prethodi je pojava sitnih pora tamnosive boje. Rupice mogu dovesti do loma zubaca usled izazvane koncentracije napona i do povećanja unutrašnjih dinamičkih sila i vibracija.
- 2) *Otcepljenje* (sl. 5.42 pod c) predstavlja razor sa znatno više oljuštenih delova. Nastaje prvenstveno usled nehomogene strukture materijala u toku izrade ili pri termičkoj obradi.
- 3) *Zaribavanje* (sl. 5.42 pod c) naročito izraženo u periodu ulaženja i izlaženja parova zubaca iz sprege. Manifestuje se u vidu brazdi, zareza i pruga duž profila zubaca različitih dubina. Nastaje usled prekida filma ulja na bokovima zubaca zbog kratkotrajnog opterećenja. Može biti "toplo" zaribavanje pri velikim brzinama klizanja i "hladno" pri malim brzinama klizanja, i to pri obimnim brzinama manjim od 4m/s. Smanjuje se upotrebom EP-ulja (uglavnom za vrlo visoke pritiske).
- 4) *Habanje* (*piting*, sl. 5.42 pod d)) je neprekidan proces kod svih parova; pozitivan samo u toku razrade jer omogućava ravnomernu raspodelu duž linije dodira. Kritičan obim u toku rada postiže se kod sporohodnih zupčanika pri brzinama manjim od 0,5m/s. Manifestuje se izdubljenjima na bokovima između podnožne odnosno temene i kinematske kružnice.

- 5) *Abrazivno habanje* se javlja usled nečistoća (tvrdih čestica) u ulju za podmazivanje (opiljci, mineralne čestice i sl.). Izaziva brzo razaranje bokova i usled se toga u procesu razrade prenosnika ulje brže menja.
- 6) *Prskotine na zupcima* se javljaju usled grešaka pri kaljenju i neodgovarajućih uslova brušenja.



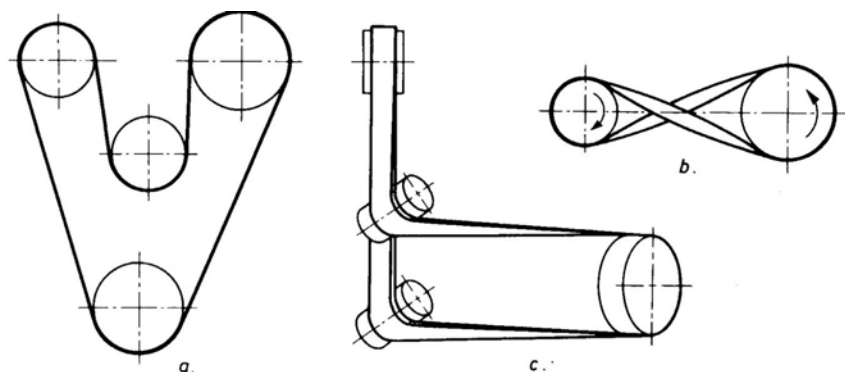
**Slika 5.42:** Oblici razaranja bokova zubaca

### 5.2.2 KAIŠNI (REMENI) PAROVI

Kaišni (remeni) parovi prenose snagu pomoću otpora klizanja između elastičnih elemenata i točkova - kaišnika odnosno remenica. Koriste se za prenos snage kod vratila sa paralelnim osama (sl. 5.43a.); kao i kod ukrštenih parova (gde su suprotni smerovi obrtanja, sl. 5.43b.) ili ako su ose vratila mimoilazne (sl. 5.43c.). Međutim, kaiši ukrštenih i mimoilaznih parova pored zatezanja izloženi su i uvijanju i imaju vrlo nepovoljno naponsko stanje, te se primenjuju samo gde je to neophodno. Na slici 5.43a. prikazan je prenos snage sa pogonskog kaišnika (na slici dole) na tri gonjena (na slici gore), od kojih jedan (srednji) obično za glavno kretanje na alatnoj mašini, a druga dva (levi i desni) za pomoćno kretanje.

Prednosti:

- jednostavnost izrade
- mali troškovi proizvodnje i održavanja
- veća odstojanja vratila
- velika elastičnost i time prigušenje promenljivog opterećenja i udara
- proklizavanje pri preopterećenjima
- bešuman rad



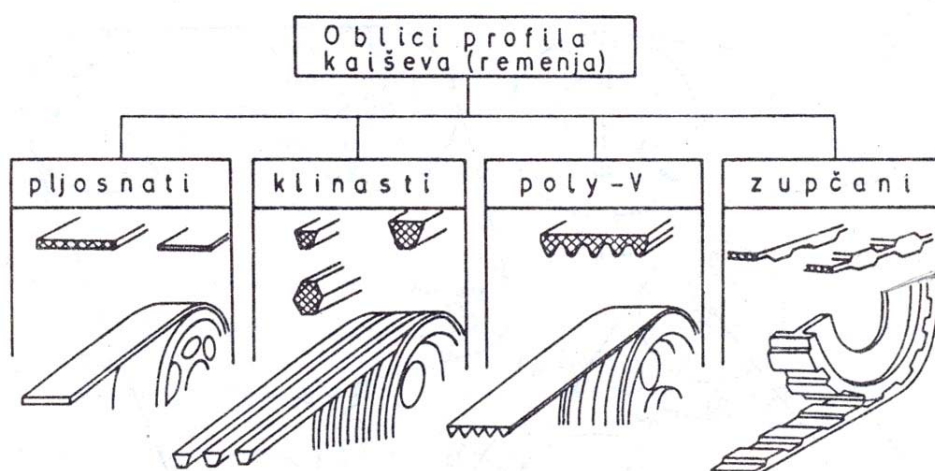
**Slika 5.43:** Vrste kaišnih parova

Mane:

- mala čvrstoća elastičnih elemenata
- velike sile da bi se ostvario otpor klizanju uslovljavaju velike gabarite
- javlja se velika radijalna sila koja opterećuje vratilo
- pri preopterećenjima obrtni moment nije konstantan
- mogućnost proklizavanja

Zato se kaišni (remeni) prenos koristi za prenos manjih i srednjih snaga (do 20kW), pri manjim brzinama (do 30m/s), a na većim rastojanjima i za prenosni odnos do  $i = 5$ . Dosta često se javlja u drvenoj industriji za prenos snage između zamajca pogonske mašine (elektro-motora) i radnog vretena za glavno kretanje; kao i tamo gde je potrebno ostvariti promenu broja obrta između glavnog i pomoćnog kretanja - stepenasti kaišnik npr. kod tokarskog struga.

Prema obliku profila kaiša ustanovljena je i njihova podela (slika 5.44).



**Slika 5.44:** Podela kaišnih (remenih) parova prema obliku profila kaiša

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Ova podela uključuje i podelu prema principu prenošenja (trenjem ili zupcima). Kod prenosa snage putem trenja od posebnog značaja je da se silom pritezanja ostvari trenje između kaiša i kaišnika, kako ne bi došlo do proklizavanja. Drugi vid prenosa snage je putem sprežanja zubaca kaiša sa međuzubljem kaišnika. Takođe, oblici profila kaiša mogu se svrstati u nekoliko grupa: pljosnati, klinasti, poly-V i zupčani. Pljosnati kaiši namenjeni su velikim obimnim brzinama, a odlikuju se potrebom za jakim pritezanjem, čime se ostvaruje trenje neophodno za prenos snage sa pogonskog kaišnika na kaiš i sa kaiša na gonjeni kaišnik. Klinaste remene potrebno je relativno malo pritezati, a odlikuju se velikom nosivošću. Nisu pogodni za velike brzine, a njihovo savijanje može u velikoj meri da smanji nosivost. Poly-V ili PV kaiši, kao i trapezni se odlikuju potrebom za malim pritezanjem, smanjen je uticaj savijanja na nosivost i povećana obimna brzina. Ove pogodnosti u poredjenju sa trapeznim (klinastim) remenjem su ostvarene smanjenjem debljine i pomeranjem položaja neutralne ose savijanja. Predstavljaju prelaz (srednje rešenje) između klinastih i pljosnatih. Kod zupčanih kaiša je drugačiji princip prenosa opterećenja. Mogu biti sa različitim oblicima profila zubaca, jednostrano i obostrano nazubljeni. Savijanje i zatezanje kaiša malo utiču na nosivost. Primenuju se tamo gde je po značaju, tačnost izrade i prenosnog odnosa ispred nosivosti i obimne brzine. Primer primene zupčastog kaiša kod alatne mašine za preradu drveta dat je na slikama P.8 i P.9 u Prilogu.

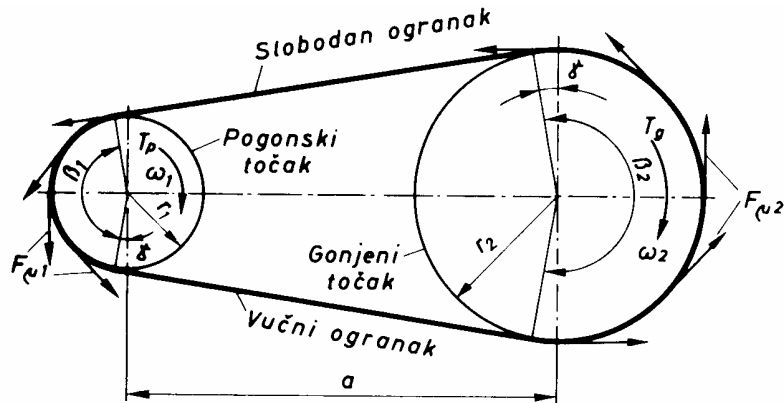
Za potpunije ostvarenje funkcije kaišnog (remenog) prenosa potreban je što veći koeficijent trenja, veći modul elastičnosti i veća otpornost na habanje. Ako je koeficijent trenja veći, potrebna sila pritezanja je manja. Pri većem modulu elastičnosti materijala kaiša, manje su elastične deformacije i elastično klizanje. Radi postizanja većeg koeficijenta trenja kaiši se izrađuju na bazi gume. Modul elastičnosti se uvećava impregnacijom kaiša tekstilnim i dr. vlaknima. Otpornost na habanje se uvećava oblaganjem dodirnih površina slojem koji je impregniran tekstilnim vlaknima. Izuzetak su pljosnati kaiši koji se najčešće izrađuju od veštačkih slojastih materijala.

### **- Neke konstruktivne mere**

Osnovno rastojanje (a), slika 5.45, se bira u granicama:

$$a = (0,7 \div 2) \cdot (d_1 + d_2)$$





*Slika 5.45: Otvoreni kaišni (remeni) par*

Prilikom izbora prednost treba dati većim vrednostima, da bi obvojni ugao na malom kaišniku odnosno remenici ( $\beta_1$ ) bio veći.

Obvojni uglovi biće:

$$\beta_1 = 180^\circ - 2 \cdot \gamma; \quad \beta_2 = 180^\circ + 2 \cdot \gamma,$$

a dužina kaiša:

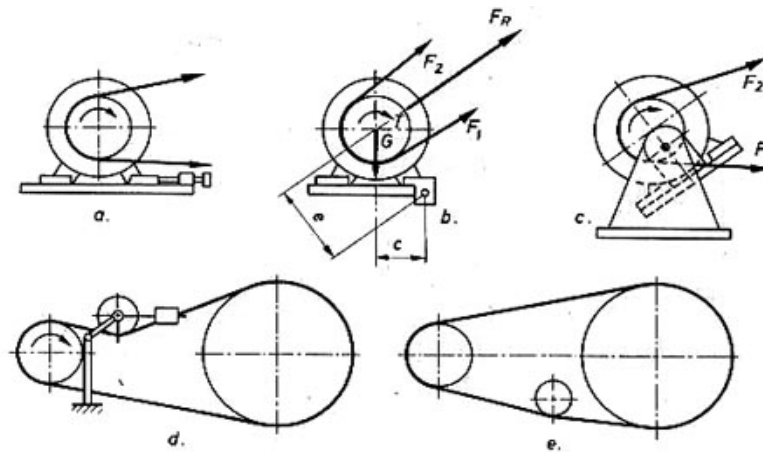
$$L_p = 2 \cdot a \cdot \cos \gamma + \pi \cdot (r_1 + r_2) + 2\gamma \cdot (r_2 - r_1)$$

Ova dužina dobijena je na osnovu slike 5.45, kao zbir dužina: pravolinijskih delova kaiša u slobodnom i vučnom ogranaku, poluobima pogonskog i gonjenog kaišnika, i razlike kružnih lukova na gonjenom i pogonskom kaišniku.

#### - Zatezanje

Zatezanje je potrebno da bi se obezbedio otpor klizanju i prenošenje sile sa kaiša na točkove i obrnuto. Može biti preko (sl. 5.46):

- pomeranja elektromotora (na sl. 5.46 pod "a")
- spoljnjim ili unutrašnjim zatezačem (na sl. 5.46 pod "d, e")
- reaktivnim obrtnim momentom (na sl. 5.46 pod "b, c")



**Slika 5.46:** Zatezanje kaiša (remena)

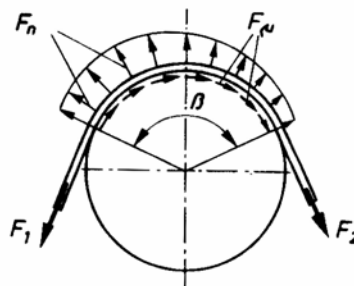
#### - Sile u kaišima i remenima

Razlika sila u vučnom i slobodnom ogranku  $F_1$  i  $F_2$  (sl. 5.47), kao posledice obimne i zatežuće sile u toku rada, je u ravnoteži sa otporom klizanja između točka i kaiša  $F_\mu$ , koji je proporcijalan obimnoj sili  $F_t$  tj.:

$$F_1 - F_2 = C_A \cdot F_\mu \quad (1)$$

gde je:

$C_A$  - faktor udara (slika 5.47.1)



**Slika 5.47:** Radne sile u vučnom i slobodnom ogranku kaiša

Iz uslova ravnoteže na koturači se dobija:

$$F_1 = F_2 \cdot e^{\mu \beta} \quad (2)$$

gde je:

$\beta$  - obvojni ugao

$\mu$  - koeficijent trenja

Radna sila  $F_t$  mora biti manja od kritičnog otpora klizanju  $[F_\mu]$  za stepen sigurnosti protiv proklizavanja  $S_\mu$ :

$$S_\mu \cdot F_t = [F_\mu] \quad (3)$$

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

| Promenljivost radnog opterećenja                                                                                                                                                                                             | Pogon |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|
|                                                                                                                                                                                                                              | lakši | teži |
| I Laki spektar opterećenja:<br>turbopumpe i kompresori, trakasti transporteri za lake materijale, ventilatori i pumpe do 7,5 kW, strugovi i brusilice ravnomerno opterećeni                                                  | 1     | 1,1  |
| II Srednji spektar opterećenja:<br>lančani i trakasti transporteri, alatne mašine, prese, makaze za lim, električni generatori, mašine za gnječenje, štamparske mašine, ventilatori i pumpe preko 7,5 kW                     | 1,1   | 1,2  |
| III Težak spektar opterećenja:<br>manje opterećeni mlinovi; klipni kompresori i pumpe, pužni transporteri i sa koficama, dizalice, tekstilne mašine, mašine za hartiju, testere, gateri, ekscentar prese dobro uravnotežene. | 1,2   | 1,4  |
| IV Vrlo težak spektar opterećenja:<br>jako opterećeni mlinovi, drobilice, kalenderi, mešalice, vitla, kranovi, bageri, valjaonički stanovi.                                                                                  | 1,3   | 1,5  |

**Slika 5.47.1:** Faktor udara  $C_A$  u zavisnosti od promenljivosti radnog opterećenja

Koristeći (1), (2) i (3) je sila u vučnom ogranku  $F_1$ :

$$F_1 = \frac{S_\mu \cdot C_A \cdot F_t}{1 - e^{-\mu \cdot \beta}}$$

a sila u slobodnom  $F_2$ :

$$F_2 = \frac{S_\mu \cdot C_A \cdot F_t}{e^{\mu \cdot \beta} - 1},$$

pri čemu je  $F_2 > F_1$

Sila prethodnog pritezanja kaiša ( $F_p$ ) dobija se iz već poznatih relacija (1) i (3):

$$F_1 - F_2 = S_\mu \cdot C_A \cdot F_t \quad (4)$$

kao i iz uslova da sila pritezanja ( $F_p$ ) pre početka rada u vučnom i slobodnom ogranku ista:

$$F_1 + F_2 = 2 \cdot F_p \quad (5)$$

dobija se:

$$F_p = \frac{S_\mu \cdot C_A \cdot F_t \cdot (e^{\mu \cdot \beta} + 1)}{2 \cdot (e^{\mu \cdot \beta} - 1)} = \frac{S_\mu \cdot C_A \cdot F_t}{2 \cdot \varphi} = \frac{S_\mu \cdot C_A \cdot P}{2 \cdot \varphi \cdot v}$$

gde su:

$\varphi$  - koeficijent zatezanja

$S_\mu=1,1 \div 1,2$  - stepen sigurnosti protiv proklizavanja

$v$ - obimna brzina.

Usled obrtanja kaišnika javlja se centrifugalna sila koja teži da odvoji kaiš od kaišnika. Jačim pritezanjem, uticaj centrifugalne sile na smanjenje pritiska na dodiru sa kaišnikom, se otklanja. Povećanje sile pritezanja srazmerno je kvadratu obimne brzine i

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

masi jedinice dužine kaiša koja se obuhvata koeficijentom  $k$ . Ako se prenošenje sile  $F_t$  vrši pomoću  $z$  paralelno ugrađenih remena, sila zatezanja jednog remena je:

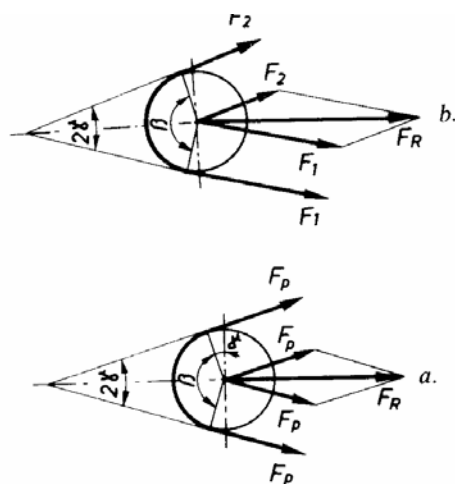
$$F_p = \frac{S_\mu C_A F_t}{2 \varphi z} + k v^2$$

Koristeći izraze (1) i (5), sile u ograncima mogu se izraziti i preko merljivih veličina zatežuće i obimne sile:

$$F_1 = F_p + \frac{C_A \cdot F_t}{2}; \quad F_2 = F_p - \frac{C_A \cdot F_t}{2}$$

Sila na vratilu ( $F_R$ ) koja se javlja kao posledica pritezanja kaiša biće (sl. 5.48):

$$F_R = 2 \cdot F_p \cdot \sin \frac{\beta}{2} = 2 \cdot F_p \cdot \cos \gamma$$



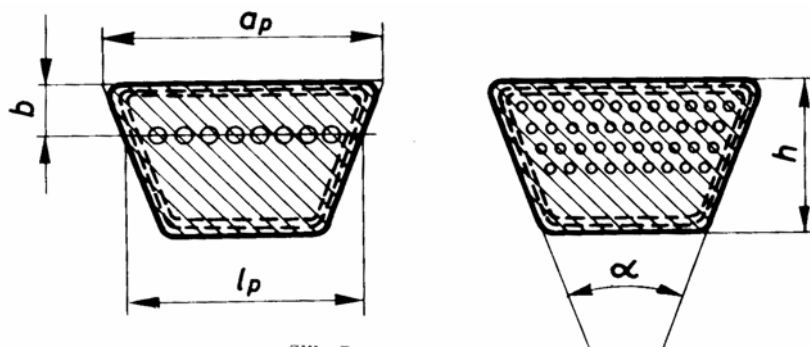
**Slika 5.48:** Sile na vratilu: a)posle prethodnog zatezanja, b)u toku rada

### - Oblici i materijali

Kaiši su obično pravougaonog preseka, male debljine u odnosu na širinu. Veličine sa dimenzijama su date u SRPS M.C1.231. Mogu biti od: gume, kože, ili redje tekstilne tkanine, armirane pletenicama od pamuka, poliamida ili poliestra. Savremeni od više slojeva spojenih lepljenjem od kojih: srednji vučni od pletenica poliamida ili poliestra, unutrašnji od materijala velike prionljivosti i otpora protiv proklizavanja, a spoljni otporan na dejstvo spoljašnje sredine: prašine, ulja, vlage i sl.

Mogu biti izjedna ili spajani bilo lepljenjem, zašivanjem, posebnim spojnicama ili zavrtnjevima.

Za kaiš oblika trapeza kaže se da je remen (sl 5.49). Remeni se prave od gume sa armaturom u jednom ili više redova od pletenica tekstilnog materijala ili sintetičkih vlakana.



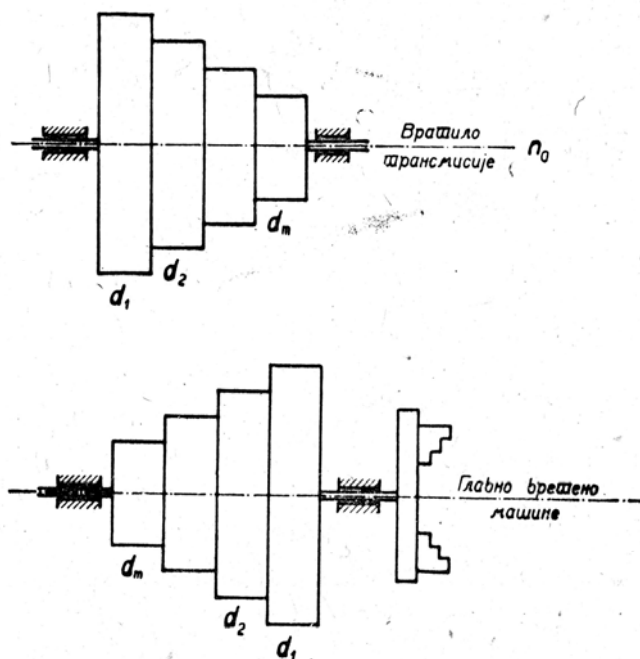
*Slika 5.49: Preseci remena sa armaturom*

Kaišnici i remenice se sastoje iz venca (gde dolazi kaiš ili remen), glavčine (gde se spaja sa vratilom) i ploče ili paoka (više krakova) pomoću kojih je venac spojen sa glavčinom. Najjednostavnije se izrađuju livenjem. Najpogodniji materijal je sivi liv (SL.20), ali se mogu primeniti i materijali sa većom čvrstoćom. Kaišnici i remenice treba da su statički uravnoteženi, a za obimne brzine veće od 30m/s i dinamički uravnoteženi.

#### 5.2.2.1 Stepenasti kaišnik

Koristi se kod mašina gde je potrebno izvršiti prenos snage sa radne mašine (npr. elektro-motora) na pogonsku (npr. radno vreteno), a gde se br. obrta glavnog kretanja ne menja često (tokarski strug, nadstona: bušilica i glodalica, debljača i sl.). Primer primene stepenastog kaiša kod tokarskog struga dat je na slici P.2 u Prilogu.

Stepenasti kaišnik se primenjuje za stupnjevitu (kaskadnu) promenu br. obrta glavnog kretanja. Na jednom vratilu nalaze se kaišnici jedan do drugog poredjani od najvećeg ka najmanjem prečniku, dok je na drugom vratilu kaišnici istih prečnika kao na prvom samo poredjani od najmanjeg ka najvećem (sl. 5.50). Najčešće se koristi 2÷5 kaišnika na jednom vratilu. Preko naspramnih kaišnika sa jednog i drugog vrtila prebačen je kaiš. Kaiš se obično smiče preko polužnog mehanizma (slika P.2 u Prilogu) i na taj način omogućava željenu kombinaciju kaišnika. Time je ostvaren željeni stupanj prenosa odnosno broj obrta na izlaznom vratilu – glavnom vretenu mašine.



Slika 5.50. Prikaz stepenastog kaišnika

Prečnici pojedinih kaišnika određuju se iz uslova jednakosti obimnih brzina na kaišu i njegove dužine. Br. obrtaja transmissionog vratila I je  $n_0 = \text{const.}$ , a vratila II (glavnog vretena mašine) je od  $n_1 \div n_m$ , gde je  $n_1$  - najmanji a  $n_m$  - najveći.

Iz jednakosti obimnih brzina kaiša na gornjem i donjem kaišniku se dobija:

- na prečniku  $d_1$  transmissionog vratila I

$$d_1 \cdot \pi \cdot n_0 = d_m \cdot \pi \cdot n_m \quad (1)$$

- na prečniku  $d_m$  transmissionog vratila I

$$d_m \cdot \pi \cdot n_0 = d_1 \cdot \pi \cdot n_1 \quad (2)$$

Deljenjem izraza (1) i (2) dobija se:

$$\frac{d_m}{d_1} = \sqrt{\frac{n_1}{n_m}} \quad (3)$$

Kod geometrijske promene br. obrta je:

$$\varphi = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_2} = \frac{n_4}{n_3} = \dots = \frac{n_m}{n_{m-1}}$$

gde je:

m - br. stepena prenosa

$$n_2 = n_1 \cdot \varphi; n_3 = n_2 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^2; n_4 = n_3 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^3 \dots n_m = n_1 \cdot \varphi^{m-1} \quad (4)$$

gde je

$\varphi$  - faktor geometrijske promene koji je kod mašina za obradu:  $1,12 \div 2$ .

Koristeći izraze (3) i (4) dobija se:

$$\frac{d_m}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\varphi^{m-1}}},$$

pa se iz ovoga može izračunati  $d_1$ , ako se usvoji  $d_m$  i obrnuto. Sada izračunamo dužinu kaiša kao:

$$L = 2 \cdot a \cdot \cos \gamma + \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 + d_m) + \gamma \cdot (d_1 - d_m)$$

Za druge prečnike biće analogno:

$$\frac{d_{m-1}}{d_2} = \sqrt{\frac{1}{\varphi^{m-3}}}, \quad (5)$$

$$\frac{d_{m-2}}{d_3} = \sqrt{\frac{1}{\varphi^{m-5}}}$$

.

Sada imajući u vidu izraz (5) i izraz za dužinu kaiša:

$$L = 2 \cdot a \cdot \cos \gamma + \frac{\pi}{2} \cdot (d_2 + d_{m-1}) + \gamma \cdot (d_2 - d_{m-1}), \quad (6)$$

gde je:

$\gamma$  - vučni koeficijent pritezanja,

treba odrediti  $d_2$  i  $d_{m-1}$ , rešavajući sistem od dve jednačine sa dve nepoznate, čime se za  $d_2$  dobija:

$$d_2 = \frac{L - 2a \cdot \cos \gamma}{\frac{\pi}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{\varphi^{m-3}}}\right) + \gamma \left(1 - \sqrt{\frac{1}{\varphi^{m-3}}}\right)},$$

Kada smo odredili  $d_2$ , prema (5) treba odrediti i  $d_{m-1}$  kao:

$$d_{m-1} = d_2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\varphi^{m-3}}}$$

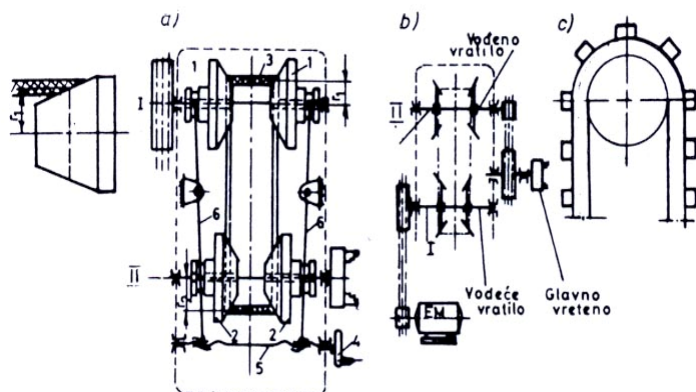
Koristeći analogiju sa određivanjem  $d_2$  i  $d_{m-1}$ , određuje se i:  $d_3$  i  $d_{m-2}$ ,  $d_4$  i  $d_{m-3}$ , itd.

### 5.2.2.2 Kontinualni kaišni prenosnik

Kontinualni kaišni prenosnik se često sreće kod mašina za preradu drveta. Uloga mu je da obezbedi kontinualnu promenu br. obrta na izlaznom (vodjenom) vratilu. Uglavnom se koristi kao prenosnik za glavno kretanje. Sastoji se iz dva paralelna vratila I i II (sl. 5.51), na kojima se nalazi po jedan par koničnih kaišnika. Ovi kaišnici spojeni su uzdužnim klinovima sa vratilima po kojima se mogu aksijalno pomerati. Široki klinasti kaiš 3 je prebačen preko kaišnika. Okretanjem ručice 4 i zavojnog vretena 5, sa desnom i levom zavojnicom, može se preko dvokrakih poluga 6 vršiti međusobno primicanje,

odnosno odmicanje koničnih kaišnika i to tako da se pri primicanju kaišnika jednog para istovremeno vrši razmicanje kaišnika drugog para. Na ovaj način se poluprečnici na kojima se ostvaruje dodir kaiša i kaišnika  $r_1$  i  $r_2$  menjaju, a time se menja i prenosni

odnos prenosnika:  $i = \frac{n_I}{n_{II}} = \frac{r_2}{r_1}$ , gde su  $n_I$  i  $n_{II}$  br. obrta vodećeg i vodjenog vratila redom.



**Slika 5.51:** a) Kontinualni frikcioni prenosnik sa dvostrukim koničnim točkovima, b) kontinualni prenosnik kombinovan sa stupnjevitim, c) kaiš ojačan lamelama

Oblast regulisanja ovog prenosnika  $R = \frac{n_{II \max}}{n_{II \min}} = 12$  kada se koristi klinasti kaiš,

odnosno  $R < 4,5$  kada se koristi ravan kaiš ojačan lamelama (sl. 5.51c). Najveća prenosna snaga je oko 15kW. Nedostatak kontinualnog prenosnika sa dvostrukim koničnim kaišnicima ogleda se u:

- 1) maloj vrednosti oblasti regulisanja,
- 2) lošem naleganju kaiša na konične kaišnike, usled čega dolazi do znatnijeg klizanja, odnosno nemogućnosti prenosa većih snaga.

Prvi nedostatak se uklanja uglavnom uvođenjem stepenastog kaišnika, i koji povezuje vodjeno vratilo II sa glavnim vretenom (sl. 5.51b). U tom slučaju je ukupna oblast regulisanja ( $R$ ) kombinovanog prenosnika jednaka proizvodu oblasti regulisanja stupnjevitog ( $R_s$ ) i kontinualnog ( $R_u$ ) prenosa ( $R = R_s \cdot R_u$ ). Ovo je od posebnog značaja kod mašina gde je potreban veći  $R$  npr. kod bušilica  $R=15 \div 30$ , kod mašina za tokarenje i glodalica  $R=50 \div 100$ .

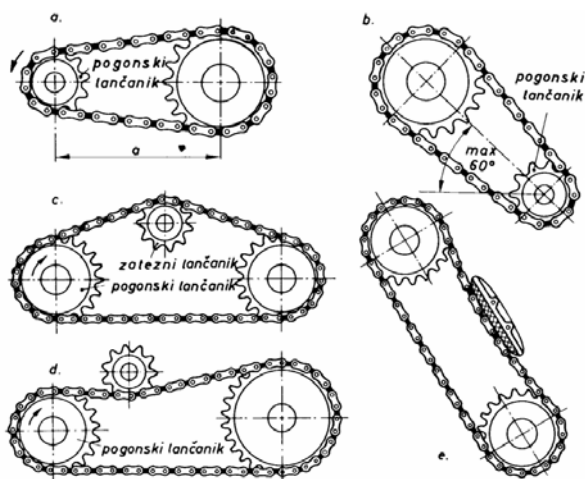
Drugi nedostatak uklanja se boljim zatezanjem kaiša, izborom materijala kaiša sa većim koeficijentom trenja, kao i ukrucivanjem kaiša poprečnim lamelama (sl. 5.51c) čime se izbegava u izvesnoj meri njegovo savijanje u poprečnom pravcu.

### 5.2.3 LANČANI PRENOSNICI

Lančani prenosnici (sl.5.52) za prenos snage i obrtnog momenta na većim rastojanjima. U poredjenju sa kaišnim prenosnicima: mogu preneti veće obrtne momente pri manjim obimnim brzinama, dužeg su veka, rade bez proklizavanja, nije potrebno



pritezanje, nisu osetljivi na uticaj temperature, a opterećenja vratila su manja. Pogodni i za veće prenosne odnose (do 8).



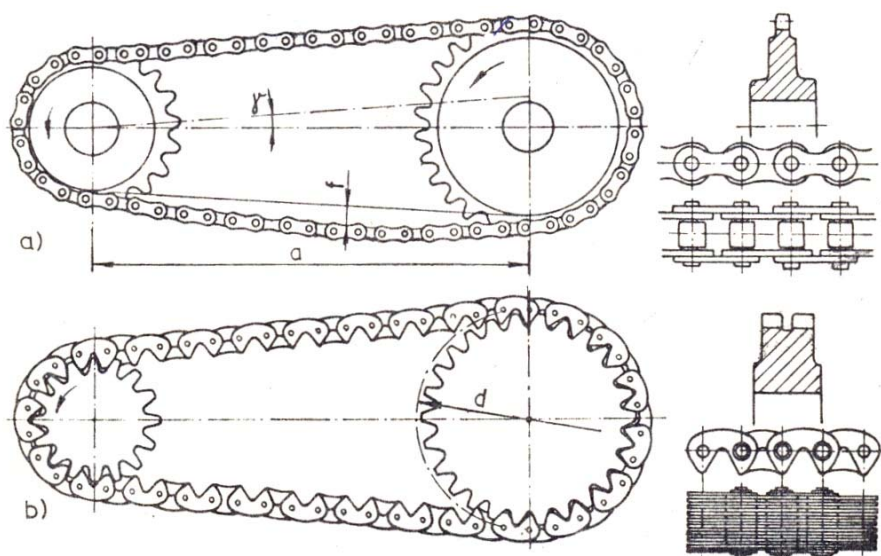
**Slika 5.52:** Oblici lančanih parova

Mane lančanih prenosnika ogledale bi se u sledećem:

- brzina gonjenog lančanika je neravnomerna u toku jednog obrta
- delovi u dodiru se habaju, pa se moraju dobro podmazivati
- lanci i lančanici su skuplji od kaiša i kaišnika.

Zahvat lanca i lančanika je bolji ako je vučni ogranak sa gornje strane (sl. 5.52a., a u suprotnom je potreban zatezni lančanic (sl. 5.52c. i d.).

Lanac može biti sa valjcima ili sa zupcima (sl. 5.53). U prvom slučaju sprežu se zupci lančanika sa valjcima u zglobovima članaka lanca (sl. 5.53). Zupci pri tom ulaze između bočnih pločica (lamela) lanca što zahvat čini sigurnim, a lanac stabilnim u radu. Zupčani lanac se spreže sa lančanicom pomoću zubaca koji su po unutrašnjoj konturi lanca. Članke lanca čini slog pločica međusobno spojenih osovinicama u zglobovima. Zupci zupčanog lanca mogu se preciznije izraditi u poredjenju sa valjčanim lancem te se i sprezanje ostvaruje sa većom preciznošću.



**Slika 5.53:** Lančani parovi: a) sa valjčanim lancem, b) sa zupčanim lancem

Valjčani se primenjuju za visoka opterećenja i za male brzine, a zupčani za veće brzine pri manjim opterećenjima. U primeni su znatno više zastupljeni valjčani lanci.

Neki primeri primene lančanih prenosnika kod alatnih mašina za obradu drveta dati su na slikama P.3 i P.4.

#### - Materijal

Lamele lanca kao i lančanici su od konstruktivnog čelika ili od čelika za poboljšanje, redje i za cementaciju.

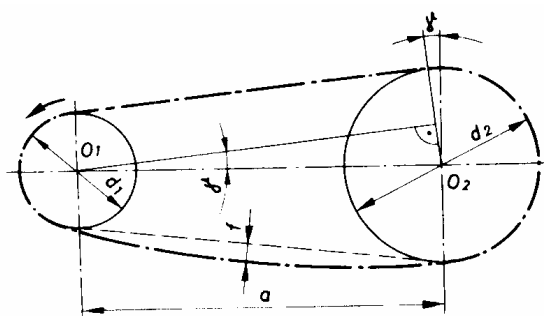
Ako su lančanici sporohodni i sa većim brojem zubaca mogu se izraditi i od SL.20 i S.25.

#### - Izbor mera lančanog para

Imajući u vidu da se prema preporukama predlaže za osno rastojanje  $a$  (slika 5.54):

$$a = (30 \div 50) \cdot p, \quad (1)$$

najpre se bira korak ( $p$ ) tj. rastojanje između osovinica koje povezuju članke lanca tako da zadovolji uslov (1). Obično se usvajaju više vrednosti za ( $p$ ), pa se ide na određivanje br. članaka lanca:



Slika 5.54: Mere lančanog para

$$n = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1) \cdot \gamma}{\pi} + \frac{2 \cdot a \cdot \cos \gamma}{p},$$

gde su:

$z_1$  i  $z_2$  - brojevi zuba malog i velikog lančanika.

Br. članaka ( $n$ ) se zaokružuje na prvi veći ceo broj, pa se računa korigovano osno rastojanje ( $a'$ ) kao:

$$a = \frac{p}{2 \cdot \cos \gamma} \cdot \left( n - \frac{z_1 + z_2}{2} - \frac{(z_2 - z_1) \cdot \gamma}{\pi} \right),$$

pri čemu je:

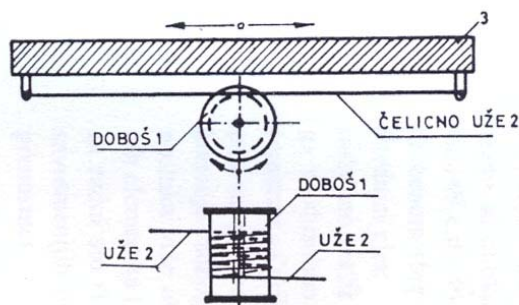
$$\sin \gamma = \frac{(z_2 - z_1) \cdot p}{2 \cdot a \cdot \pi},$$

a prečnici lančanika određuju se iz:

$$d_i = \frac{p}{\sin \left( \frac{180^\circ}{z_i} \right)}, \text{ za } i=1,2.$$

#### 5.2.4 UŽETNI PRENOSNICI

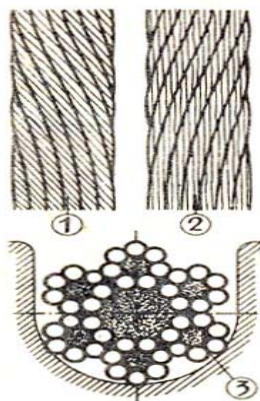
Užetni prenosnici se danas uglavnom retko sreću i to uglavnom na: dizalicama za podizanje tereta, transportnim postrenjima, ski liftovima i sl. Koristi se i kod pilanske prerade drveta za izvodjenje pomoćnog kretanja kolica na pili za sečenje trupaca (trupčari). Primer primene prenosnika sa dobošem i čeličnim užetom dat je na slici 5.54'. Doboš 1 učvršćen je na predajnom vratilu prenosnika za promenu smera obrtanja, a krajevi čeličnog užeta 2 vezani su sa delom mašine 3 koji se pravolinijski kreće. Pravolinijskim kretanjem dela mašine 3 u desno desni deo užeta se zamotava, a levi odmotava i obratno.



**Slika 5.54':** Prenosnik sa dobošem i čeličnim užetom

Žičana užeta su mahom okruglog poprečnog preseka. Pojedine žice užeta upredaju se prethodno u uvojke ili upretke, a onda se ovi upredaju u uže. U cilju zaštite od rdjanja žica se može pocinkovati. Jedan uvojak se sastoji od: 6, 8, 13, 16, 19, 37 ili 61 žice, što zavisi od željene jačine užeta. Debljina žice iznosi  $0,4 \div 2 \text{ mm}$ . Broj uvojaka u užetu obično  $5 \div 6$ .

Treba razlikovati (sl.5.54'): *desno* (1) i *levo* (2) upredeno uže. Kao što vidimo kod desno upredenog užeta upretci se upredaju u pravcu kazaljke na časovniku, a kod levo upredenog obrnuto. Uže može biti *jednostruko*, ako ima samo jedan, ili *višestruko*, ako ima više upredaka.



**Slika 5.54'':** Izgled žičanog užeta

Izgled poprečnog preseka žičanog užeta sa  $6 \times 7 = 42$  žice dat je na slici 5.54''(3). Uvek treba težiti da se što podesnijom konstrukcijom poprečnog preseka postigne naleganje što većeg broja žica na žljeb točka ili bubnja. Ovim se postiže smanjenje površinskog pritiska što ublažava oštećenja i prekide žica i povoljno utiče na vek trajanja užeta. U slučaju na sl. 5.54''(3), uže naleže na samo tri žice što je nepovoljno.

Prilikom izbora užeta treba imati u vidu da uže sa većim brojem tanjih žica ima bolju savitljivost, manji prečnik točkova i bubnjeva oko kojih se žica savija (time i lakši pogonski uredjaj), ali su tanke žice osjetljivije na mehaničke i hemijske uticaje.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Na uže nepovoljno utiče njegovo naizmenično savijanje. Uže treba voditi da mu savijanje po mogućnosti bude jednosmerno.

### **- Proračun žičanog užeta**

Ukupan normalni napon predstavlja zbir napona nastalih usled zatezanja i savijanja užeta oko doboša i točkića oko kojih je uže prebačeno:

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_s.$$

Napon na zatezanje računa se kao:

$$\sigma_z = \frac{4F}{z \cdot \pi \cdot d^2},$$

gde je:

z – br. žica u užetu,

d – prečnik žice.

Napon na savijanje užeta iznosi:

$$\sigma_s = \beta \cdot \frac{E \cdot d}{D},$$

gde je:

E – modul elastičnosti

D – prečnik doboša

$\beta = 3/8$  za užeta obične konstrukcije,

1/4 za uže naročito savitljivo,

1/2 za uže manje savitljivosti.

Ukupan napon ( $\sigma$ ) treba da je manji od dozvoljenog koji je:

$\sigma_d = (1,3 \div 1,5) \sigma_M$  – za ručni pogon

$\sigma_d = (1,4 \div 1,5) \sigma_M$  – za motorni pogon.

Najmanji prečnik D doboša oko kojih se žica savija zavisi od jačine žice i vrste užeta, a obično ga propisuju pojedini proizvođači užeta. Neke preporučene vrednosti bile bi:

D iznad  $400 \cdot d$  – za dizalice na ručni pogon,

D iznad  $(500 \div 800) \cdot d$  – za dizalice na motorni pogon,

D iznad  $1000 \cdot d$  – za transportna postrojenja.

Smanjenje prečnika D ispod ovih vrednosti, odražava se na smanjenje trajanja veka užeta.

### **5.2.5 FRIKSIONI PAROVI**

Prenos snage sa pogonskog na gonjeni element putem trenja koje se javlja pritiskom jednog točka (tarenice) na drugi.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Prednosti bi bile:

- prost oblik i jednostavna izrada
- mogućnost kontinualne promene prenosnog odnosa
- mogućnost proklizavanja pod preopterećenjem.

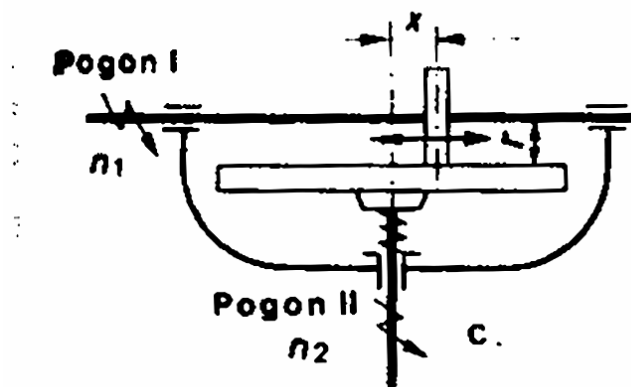
Nedostaci se ogledaju u sledećem:

- nedovoljna sigurnost prenosa
- stalno elastično klizanje
- ograničena snaga koja se može preneti i potreba za velikom pritiskom silom na mestu dodira
- deformacija dodirne površine, zagrevanje i trošenje.

Frikcioni parovi mogu biti:

- 1) cilindrični - ose vratila paralelne
- 2) konusni ili torusni - ose vratila se seku
- 3) globoidni - ispupčena površina jednog u dodiru sa izdubljenom površinom drugog.

Takođe mogu biti sa: stalnim i promenljivim prenosnim odnosom. Promenljivi prenosni odnos (sl. 5.54) se koristi za kontinualnu promenu br. obrta glavnog ili pomoćnog kretanja i dosta se često koristi kod mašina za obradu drveta.



**Slika 5.54:** Frikcioni par sa promenljivim prenosnim odnosom (varijator)

Na slici 5.54. vidimo kako se preko manjeg točka na pogonskom vratilu I, prenosi snaga na pogonsko vratilo II većeg točka. Manji točak se može pomerati duž pogonskog vratila I, tako da je njegovo udaljenje od ose pogonskog vratila II ( $x$ ) promenljivo, a time i mesto na kome se vrši prenos snage i na kome je ista obimna brzina. Ovim se postiže da kad je

to udaljenje  $x$  manje, veći je broj obrtaja  $n_2$  na pogonskom vratilu II ( $\omega_2 = \frac{v}{x}$ ), a kada je

$x$  veće br. obrta  $n_2$  je manji. Prenosni odnos se računa kao:  $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{x}{r}$ , pa je

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

$n_2 = n_1 \cdot \frac{r}{x}$ , pri čemu je pored  $n_1 = \text{const}$  i  $r = \text{const}$ . Kako je obimna sila na dodiru točkova  $F_t = \text{const.}$ , obrtni moment vratila II:  $M_2 = F_t \cdot x$ , raste linearno sa rastojanjem  $x$ .

Sasvim drugi slučaj je ako je II pogonsko vratilo. Tada su  $n_2$  i  $M_2$  konstatni, a  $n_1$  raste linearno prema izrazu  $n_1 = n_2 \cdot \frac{x}{r}$ . Pošto je  $M_2 = \text{const.}$  to bi pri krajnjem desnom položaju ( $x = \text{max.}$ ) malog točka 1, obimna sila bila mala, pa prema tome bio i mali obrtni moment:  $M_1 = F_t \cdot x = \frac{M_2}{r} \cdot x$ . Ako je pak točak 1 blizu središta točka 2, onda bi obimna sila bila vrlo velika, a kako je ona srazmerna potrebnoj sili pritiska jednog točka na drugi, potrebno bi bilo da je i sila pritiska ( $F_n$ ) jako velika. Zbog svega ovoga, prvi način pogona je povoljniji.

### **- Analiza opterećenja**

Da bi se ostvario prenos snage sa pogonskog na gonjeni točak potrebno je da sila trenja na dodiru para ( $F_\mu$ ) bude veća od obimne (tangentne) sile ( $F_t$ ) na točku (sl. 5.55), tj.:

$$F_\mu > F_t$$

$$F_n \cdot \mu = S_\mu \cdot F_t$$

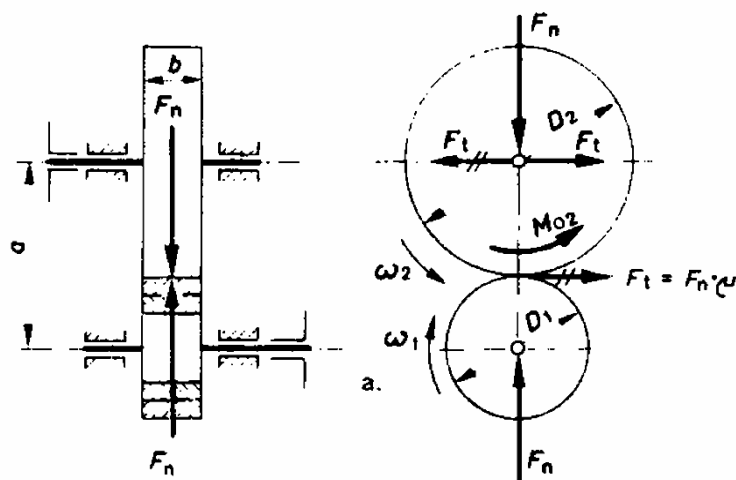
$$F_n = \frac{S_\mu \cdot F_t}{\mu}$$

pri čemu je:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_p}{d_p} = \frac{2 \cdot M_g}{d_g};$$

$$M_p = \frac{P}{\omega_p}; M_g = M_p \cdot i \cdot \eta$$

Ako se radno opterećenje poveća tako da obimna sila bude veća od sile trenja ( $F_t > F_\mu$ ), nastaje proklizavanje usled preopterećenja što je dobra osobina, radi zaštite drugih delova prenosnika od preopterećenja.



Slika 5.55: Analiza opterećenja kod frikcionih parova

#### - Materijal

Zahtevi koje materijal frikcionih parova treba da zadovolji:

- veliki modul elastičnosti ( $E$ ) - da bi se smanjile deformacije na dodiru
- veliki koeficijent trenja - da bi se prenelo što veće opterećenje sa što manjim silama pritiska
- velika izdržljivost na habanje

Imajući u vidu ove zahteve, frikcioni parovi se prave od površinski otvrdnutih čelika, a oni veći od SL. Radi povećanja koeficijenta trenja jedan od točkova se oblaže gumom, plastičnom masom ili nekim drugim materijalom. Guma može biti: napresovana na obod tarenice (manje obimne sile), vulkanizirana na obod (za srednja opterećenja) ili armirana čeličnim prstenovima pa napresovana (za velika opterećenja).

Obloga može biti i od lamelata presovanog drveta ili kože, presovane hartije i sl. Obloženi parovi su uglavnom konstatnog prenosnog odnosa.

## 5.3 ELEMENTI ZA PRENOS OBRTNOG KRETANJA

### 5.3.1 VRATILA I OSOVINE

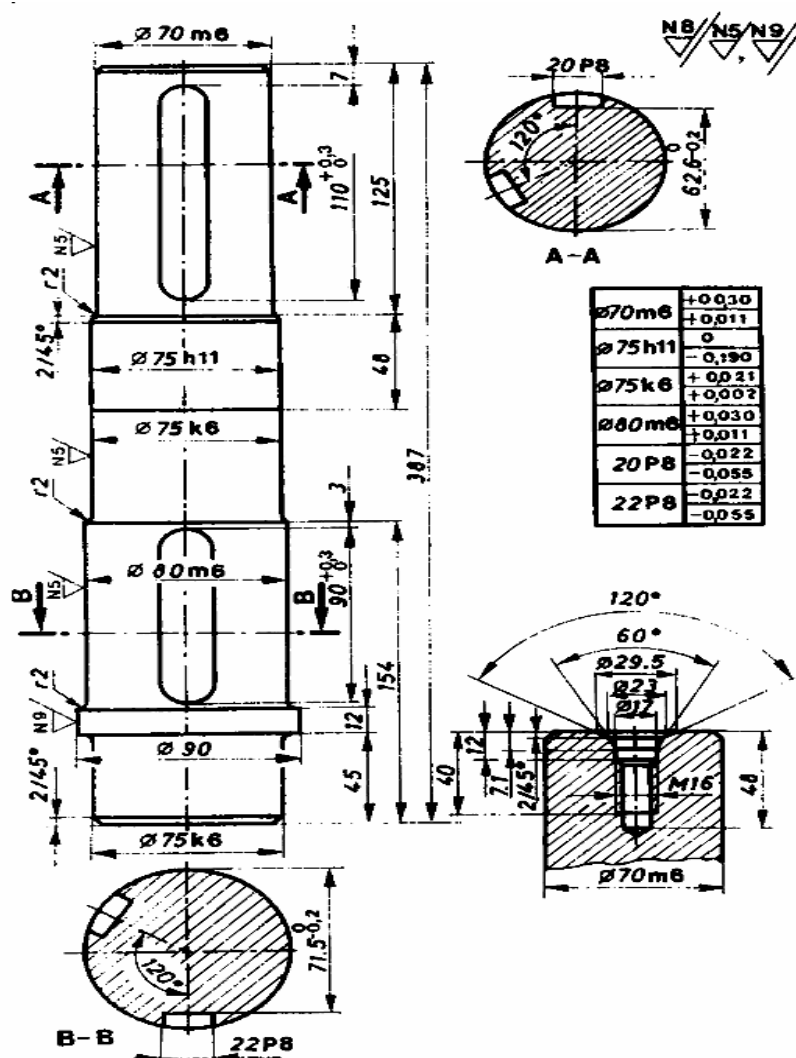
Na vratilima se nalaze elementi za prenos snage (zupčanici, kaišnici, lančanici, tarenice i dr.). Vratila omogućavaju obrtno kretanje ovih delova, njihovo spajanje sa elementima za prenos snage koji se nalaze na drugim vratilima, a i time prenošenje obrtnog momenta. Usled uzajamnog dejstva obrtnih delova sa jednog i drugog vratila i same težine obrtnih delova, javljaju se uzdužne i poprečne sile, i obrtni momenti koji opterećuju vratila na savijanje, uvijanje i istezanje-pritisk. Osnovni oblik vratila je cilindrični sa promenljivim presekom (sl.5.55”), a može biti i sa konstantnim presekom i



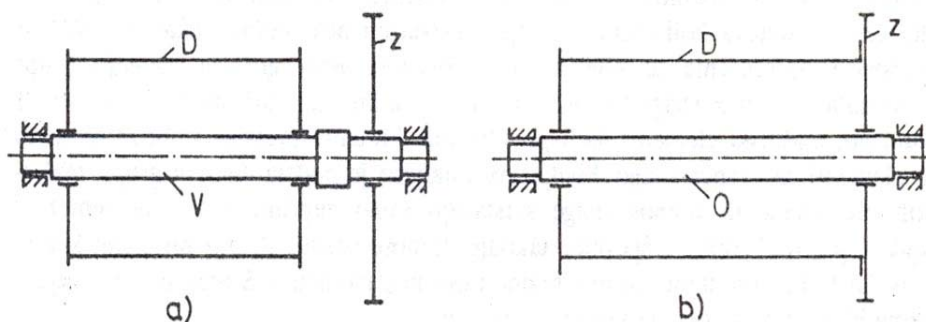
imati posebne oblike, ako se vratilo izradi izjedna sa obrtnim delovima. S obzirom na iskorišćenje materijala i napone najpovoljniji je prstenasti presek, ali sa obzirom na troškove izrade osnovni oblik je pun krug.

Na slici 5.55 prikazane su i tolerancije dužinskih mera pri kotiranju i tolerancije hrapavosti (kvaliteta) površina. Svi prečnici vratila na kojima imamo naleganja drugih elemenata kao i širine žljeba za klin imaju definisana tolerancijska polja. Takođe, delovi vratila na kojima imamo naleganja drugih elemenata su finije klase hrapavosti (N5), a oni gde nemamo naleganja su grublje klase hrapavosti (N9).

Osovine služe samo kao nosači obrtnih delova. One za razliku od vratila ne prenose obrtno momente, pa nisu izložene uvijanju. Prema tome da li izvode kretanje mogu biti: obrtne ili mirujuće, a prema obliku: kružnog ili proizvoljnog poprečnog preseka. Osovine male dužine u odnosu na prečnik nazivaju se osovinice ili svornjaci. Sl. 5.56 će nam pomoći da se uoči razlika između osovine i vratila.



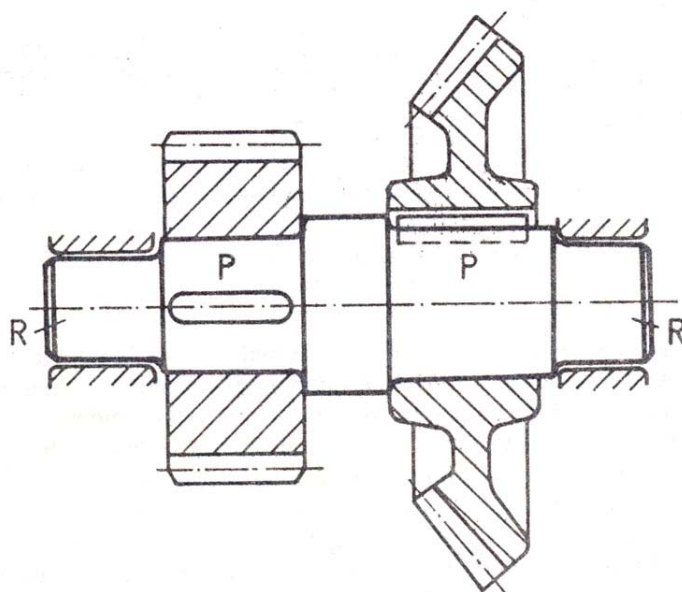
Slika 5.55: Izgled vratila sa promenljivim presekom



**Slika 5.56:** Uticaj načina prenošenja obrtnog momenta na opredeljenje nosača u grupu: vrtilo (a) ili osovina (b)

Obrtni moment se preko zupčanika (Z), dovodi na vrtilo (V), a preko njega do doboša (D) za namotavanje užeta (slika 5.56a). Ovim je vrtilo na delu između zupčanika i doboša opterećeno na uvijanje. Drugi deo slike, varijanta pod (b), se razlikuje u tome što su zupčanik (Z) i doboš (D) spojeni. Obrtni moment se neposredno sa zupčanika prenosi na doboš, tako da vrtilo nije opterećeno na uvijanje. S toga takav nosač predstavlja osovina.

**Rukavac** (oznaka (R) na sl.5.57) je mesto na vratilu gde se ono oslanja na oslonce, odnosno gde ulazi u ležaj. Da bi se smanjio otpor klizanju obraduju se finim struganjem ili brušenjem, a da bi se povećala površinska tvrdoća često se prethodno izlažu termohemijskim obradama: nitriranjem ili cementaciji. Ovo je sve u cilju smanjenja habanja kojem su izložena usled opterećenja. **Podglavci** (oznaka (P) na sl. 5.57) su mesta na vratilu gde se oslanjaju glavčine obrtnih delova: elementi za prenos snage, spojnice, doboši i sl, koji se nalaze na njemu. Ako je veza obrtnog dela i vratila ostvarena putem klina, onda se u podglavku vratila izrađuje žljeb za klin.



**Slika 5.57:** Podglavci (P) i rukavci (R) vratila

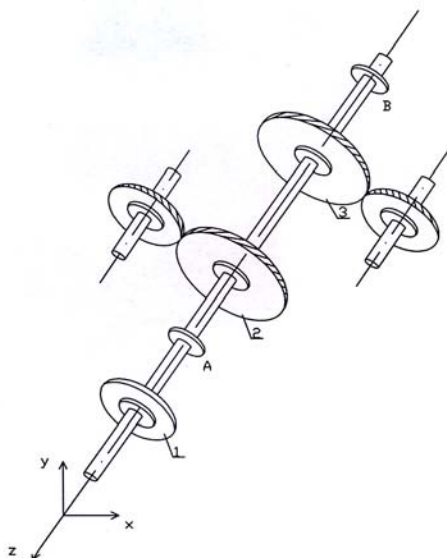
## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Prema funkciji koju obavljaju vratila se mogu razvrstati u tri grupe: vratila prenosnika snage, pogonska vratila rotora energetskih mašina i na specijalna vratila. Prvu grupu predstavljaju vratila koja su nosači: zupčanika, kaišnika, lančanika, spojnice, i sl. Mogu biti odvojena ili iz jednog komada sa obrtnim delom, na primer zupčanicom. Pogonska vratila rotora energetskih mašina koriste se za prenos obrtnog momenta kod elektromotora, pumpi, ventilatora, turbina i sl. Ova vrsta vratila po pravilu je izložena uvijanju, a izostaju poprečne sile i savijanje. Specijalna vratila se koriste za izvršavanje specijalnih funkcija u mašinskim sistemima. To su kolenasta vratila SUS motora, gipka odnosno savitljiva vratila koja se mogu u prostoru deformisati prema potrebi, kao i teleskopska vratila čija se dužina može menjati.

### **- Opterećenje vratila**

Opterećenje vratila predstavlja prostorne sisteme sila i spregova, te se radi iznalaženja otpora oslonaca svode na ravanske sisteme, pri čemu se koordinatni sistem bira tako da se jedna osa poklapa sa osom vratila, a druge dve koordinatne ose su u ravni upravnoj na osu vratila.

Prema načinu prenošenja obrtnih momenata, obrtni delovi mogu prenositi obrtni moment po celom obimu (spojnice, rotori elektromotora, turbokompresori, pumpe, ventilatori, i dr.), ili na jednom delu obima (zupčanici, lančanici, kaišnici, frikcioni točkovi i sl.). U zavisnosti od načina rada i konstrukcije, obrtni delovi prve grupe mogu imati i aksijalne sile, rasporedjene kontinualno i diskontinualno po celom obimu. Obrtni momenti opterećuju vratilo na uvijanje, a aksijalne sile na pritisak ili na istezanje (sl. 5.58, element 1 je disk frikcionne spojnice).



**Slika 5.58:** Vratilo AB sa obrtnim elementima: 1.disk frikcionne spojnice, 2. i 3. cilindrični zupčanici sa kosim zupcima

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Kod obrtnih delova druge grupe, usled delovanja obimne sile na jednom delu obima, vratilo je opterećeno osim navedenih opterećenja, i poprečnim silama koje naprežu vratilo na savijanje. Ako postoje i aksijalne komponente sila (na primer kod cilindričnih zupčanika sa kosim zupcima), svedene na težište preseka, one daju sile koje deluju u pravcu ose vrtila, i naprežu vratilo na pritisak ili zatezanje, i spregove u aksijalnim ravnima, koji naprežu vratila na savijanje (sl. 5.58, elementi 2 i 3 su cilindrični zupčanici sa kosim zupcima).

Na slici 5.58a izvršena je analiza opterećenja vrtila sa slike 5.58. Dobijene su svedene vrednosti za napadne (aktivne) sile i momente kao:

$$F_x = F_t \cdot \sin \varphi - F_r \cdot \cos \varphi$$

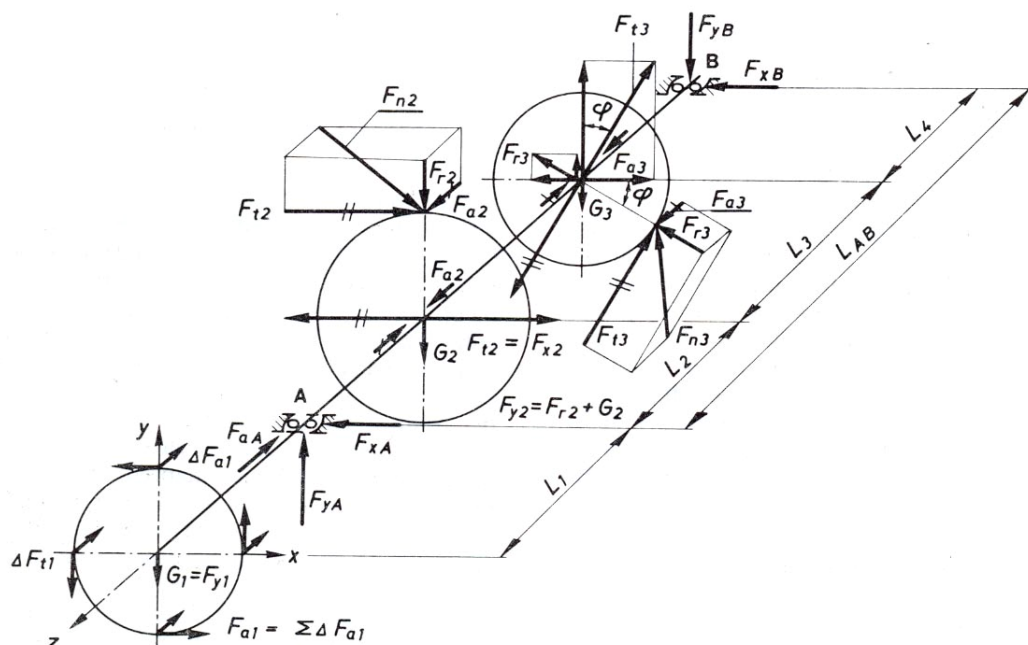
$$F_y = F_t \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi - G$$

$$F_z = F_a$$

$$M_u = F_t \cdot r$$

$$M_{sx} = F_a \cdot r \cdot \sin \varphi$$

$$M_{sy} = F_a \cdot r \cdot \cos \varphi$$



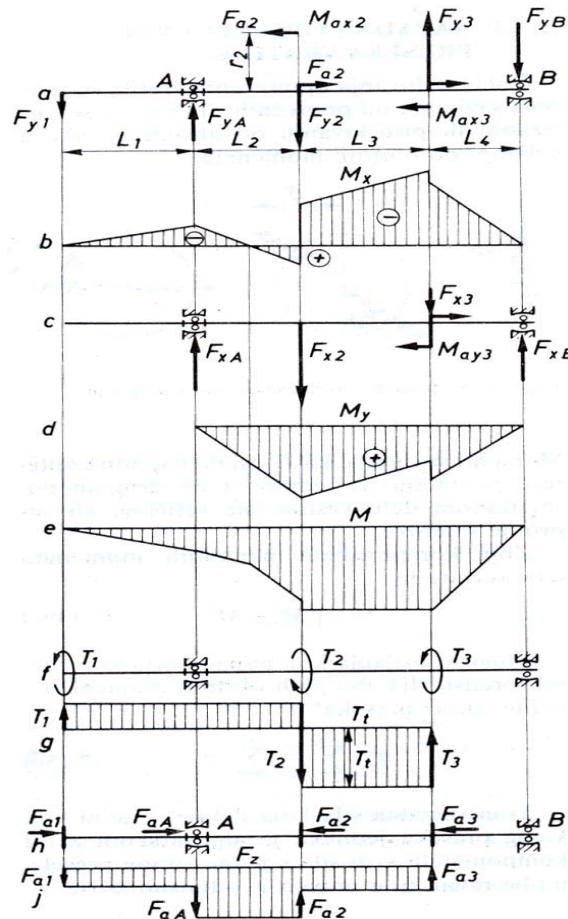
**Slika 5.58a:** Analiza opterećenja vrtila

Otpori oslonaca (sile u ležištima):  $X_A$ ,  $X_B$ ,  $Y_A$ ,  $Y_B$ ,  $Z_A$ , određuju se iz statičkih uslova ravnoteže i to:

1) za ravan x-z

- a)  $\sum X_i = 0$   
 b)  $\sum Z_i = 0$   
 c)  $\sum M_i^A = 0$   
 2) za ravan y-z  
 d)  $\sum Y_i = 0$   
 e)  $\sum Z_i = 0$   
 f)  $\sum M_i^A = 0$ ;

Kada se odrede otpori oslonaca, primenjujući znanja iz Tehničke mehanike, određuju se dijagrami napadnih opterećenja vratila. To su pre svega dijagrami: transferzalne i aksijalne sile, momenta savijanja i uvijanja (sl. 5.59).



**Slika 5.59:** Napadna opterećenja vratila i to: a,c – sile i spregovi u ravni y-z i x-z; b,d – napadni momenti savijanja u ravni y-z i x-z; e-rezultujući napadni moment savijanja; f-obrtni momenti; g-napadni momenti uvijanja; h,j – aksijalne sile na vratilu.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Kao što vidimo vratila su izložena savijanju poprečnih sila i spregova, istezanju ili pritiskanju od aksijalnih sila i uvijanju od obrtnih momenata.

Shodno tome javljaju se naponi na:

1) *savijanje*:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_s}{W},$$

gde su:

$$M_s = \sqrt{M_{sx}^2 + M_{sy}^2} - \text{rezultujući moment savijanja u kritičnom preseku}$$

W - aksijalni moment inercije koji za puno vratilo iznosi:  $W = \frac{d^3 \cdot \pi}{32}$ , a za šuplje:

$$W = \frac{d^3 \cdot \pi}{32} \cdot (1 - \psi^4), \text{ gde je } \psi = d/D.$$

2) *uvijanje*:

$$\tau_{\max} = \frac{M_u}{W_0}$$

gde su:

$M_u$  - moment uvijanja

$W_0$  - polarni moment inercije koji za puno vratilo iznosi:  $W = \frac{d^3 \cdot \pi}{16}$ , a za šuplje

$$W = \frac{d^3 \cdot \pi}{16} \cdot (1 - \psi^4), \text{ gde je } \psi = d/D.$$

### **- Proračun vratila**

Razlikujemo proračun "teškog" i "lakog" vratila.

1) *"teška"* vratila - opterećena na savijanje i uvijanje.

Složeno naponsko stanje se svodi samo na uvijanje preko fiktivnog momenta

$$M_f = \sqrt{M_u^2 + \left(\frac{2M_s}{\alpha}\right)^2}$$

gde je:

$\alpha$  - koeficijent svodjenja savijanja na uvijanje.

Sada se najmanji (na mestu gde je žljeb za klin) prečnik punog vratila određuje kao:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_f}{\pi \cdot \tau_{doz}}}$$

gde je:

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

$$\tau_{doz} = \frac{R_m}{\nu}, \text{ a } \nu = 4 \div 6$$

Na vrednost najmanjeg prečnika (d) se dodaje dubina žljeba (t), pa se dobijena vrednost standardizuje, i time usvaja konačni prečnik vratila prema tabeli 5.4.

**Tabela 5.4:** Standardni prečnici vratila i rukavaca u (mm)

| d  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 24 | 25 | 26 | 28 | 30 | 32  | 34 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| mm | 36 | 38 | 40 | 42 | 45 | 48 | 50 | 52 | 56 | 60 | 63 | 68 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |    |

2) "laka" vratila - kad se savijanje zanemaruje (malo je u odnosu na uvijanje).

Ovde se najmanji prečnik punog vratila računa preko:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_u}{\pi \cdot \tau_{doz}}}$$

Znači, razlika je u tome što se ovde umesto fiktivnog momenta koristi moment uvijanja, a procedura usvajanja konačnog prečnika vratila ista kao kod "teškog" vratila.

### **- Proračun rukavca**

Kako je već u uvodnom delu rečeno rukavci su delovi vratila (osovina) preko kojih se vratila oslanjaju na ležaje, čime je omogućeno da se opterećenja prenesu na nepokretni deo konstrukcije. Osnovna opterećenja rukavca su površinski pritisak i trenje. Zbog trenja se rukavac i ležaj zagrevaju.

Cilindrični spoljni rukavac (sl. 5.59) proračunava se s obzirom na površinski pritisak, zagrevanje usled trenja i savijanje.

Površinski pritisak (p) kome je rukavac jednak je količniku sile F (otpor oslonca na mestu rukavca) i projekcije površine omotača rukavca  $A = d \cdot l$  (d je prečnik, a l dužina rukavca):

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot l} \leq p_{dop} \quad (1)$$

gde je:  $p_{dop}$  (Pa) – dopušteni površinski pritisak za kombinaciju materijala rukavca i kliznog ležaja u kome se rukavac obrće (Tabela 5.5).

Na veličinu dopuštenog površinskog pritiska utiču i kvalitet površine rukavca i ležaja, podmazivanje, temperatura i karakter opterećenja.

Napon savijanja rukavca  $\sigma_s$  treba da je manji od dopuštenog  $\sigma_{s,dop}$  tj.

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} = \frac{\frac{Fl}{2}}{\frac{d^3 \pi}{32}} = \frac{16Fl}{d^3 \pi} \leq \sigma_{s,dop} \quad (2)$$

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

s tim što se moment savijanja ( $M_s$ ) uzima kao za uklještenu gredu.

**Tabela 5.5:** Dopušteni površinski pritisak rukavaca (Ognjanović i dr., 1994)

| Materijal rukavca | Materijal kliznog ležaja | Obimna brzina rukavca $v$ (m/s) |     |     |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------|-----|-----|
|                   |                          | 5                               | 20  | 40  |
| Nekaljen čelik    | Liveno gvožđe            | 3                               | 1,5 |     |
|                   | Mesing                   | 5                               | 2   |     |
|                   | Kalajna bronza           | 6                               | 3   |     |
|                   | Beli metal               | 6                               | 4   | 2   |
| Kaljen čelik      | Kalajna bronza           | 8                               | 4   | 2   |
|                   | Beli metal               | 9                               | 5   | 3   |
|                   | Olovna bronza            | 12                              | 6   | 3,5 |
|                   | Kaljen čelik             | 15                              | 8   | 4   |

Često se proračun rukavca izvodi prema konstruktivnoj karakteristici  $\varphi$ , tj odnosu dužine rukavca ( $l$ ) i prečnika rukavca ( $d$ ):

$$\varphi = \frac{l}{d} \quad (3)$$

koja se iskustveno uzima 0,5 do 0,7 za jako opterećene rukavce; 0,7 do 1,1 za srednje opterećene i 1,1 do 1,2 za malo opterećene rukavce.

Sada je iz (1) i (3) može odrediti prečnik rukavca kao:

$$d = \sqrt{\frac{F}{\varphi \cdot p_{dop}}}$$

Dobijenu vrednost treba zbog habanja u radu i mogućnosti dorade povećati za 10% i standardizovati, pri čemu su prečnici standardnih rukavaca dati u Tabeli. Prema prečniku ( $d$ ) i karakteristici rukavca ( $\varphi$ ) određuje se dužina rukavca ( $l$ ) i proverava napon savijanja prema (3).

Rukavci se zagrevaju od toplote, u koju se pretvara rad trenja. Za savladjivanje otpora trenja troši se deo snage  $P_\mu$ :

$$P_\mu = M_\mu \cdot \omega = \mu \cdot F \cdot \frac{d}{2} \cdot \omega = \mu \cdot F \cdot v$$

Ova snaga se ravnomerno raspoređuje na ukupnu površinu rukavca  $A_\mu = \pi \cdot d \cdot b$ , tako da može da se definiše specifična snaga trenja, svedena na jedinicu površine u obliku:

$$\frac{P_\mu}{A_\mu} = \frac{\mu \cdot F \cdot v}{\pi \cdot d \cdot b} = \frac{\mu}{\pi} \cdot (p \cdot v)$$

Proizvod ( $p \cdot v$ ), pri čemu je  $p$  određeno prema (1) je karakterističan za zagrevanje, i treba da bude manji od dopuštene veličine  $(p \cdot v)_{dop}$ , koja iznosi 0,8 do 2MW/m<sup>2</sup> za dobro podmazane rukavce; 1,5 do 2MW/m<sup>2</sup> za rukavce vratila prenosnika; a 3,5 do 5MW/m<sup>2</sup> za prinudno hladjene rukavce. Ako je  $(p \cdot v)$  veće od dopuštenih veličina, potrebno je povećati



## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

prečnik rukavca ( $d$ ), ne menjajući karakteristiku  $\varphi$ , ili ako i to nije dovoljno primeniti podmazivanje pod pritiskom, koje se često sreće kod savremenih konstrukcija.

### **- Materijal za vratila i osovine**

Od ugljeničnih čelika sa negarantovanim sastavom obično se koriste Č.0545 i Č.0645, koji imaju zadovoljavajuća mehanička i tehnološka svojstva. Njihova čvrstoća i tvrdoća manja je u odnosu na termički obradjene i legirane čelike, ali zbog niske cene nalaze široku primenu u konstrukcijama.

Za veća opterećenja i vratila i osovine složenijeg oblika, koriste se poboljšani čelici Č.1430, Č.1530 i Č.1730.

Za osovine oslonjene na klizne ležaje koje su izložene intenzivnom klizanju koriste se cementirani čelici (obično Č.1121 i Č.1221). Takodje, ovi čelici se koriste za vratila koja su napravljena izjedna sa drugim obrtnim delovima, na primer zupčanicima i sl.

Za promenljiva opterećenja i vratila i osovine malih dimenzija izložena habanju i koroziji koristi se Č.4120, Č.4320 i Č.4720.

### **5.3.2 LEŽAJI**

Uloga ležaja je da prenesu opterećenje sa pokretnih (vratila, osovine i sl.) na nepokretne delove mašina (kućište).

Podela prema silama koje prenose ležajevi se dele na:

1. radijalne - sila upravna na osu rukavca
2. aksijalne - sila u smeru ose rukavca
3. radi-aksijalne - predstavljaju kombinaciju prve dve vrste

Ako se prenos opterećenja vrši translatorskim kretanjem onda to obezbeđuju *klizni ležaji*, a za prenos opterećenja obrtnim kretanjem koriste se *kotrljajni ležaji*.

#### **1) Klizni ležaji**

Primenjuju se uglavnom tamo gde nije moguća upotreba kotrljajnih ležaja. Stoga se mogu izdvojiti tri područja njihove primene:

1. U sklopovima u kojima bi kotrljajni ležaji stvorili relativno visoke vibracije i buku.
2. Za rukavce prečnika manjih od 15mm i većih od 300mm, gde se po pravilu koriste jer su kotrljajni tih gabarita retki i izrađuju se i ugrađuju se samo ako su za to neophodno potrebni.
3. Na mestima gde ugradnja kotrljajnih ležaja koji su jednodelni, nije moguća. Kako klizni ležaji mogu biti dvodelni, na nepristupačnim mestima kao što su rukavci radilica i sl., ugrađuju se uzduž resečena klizna ležišta.

Prednosti:

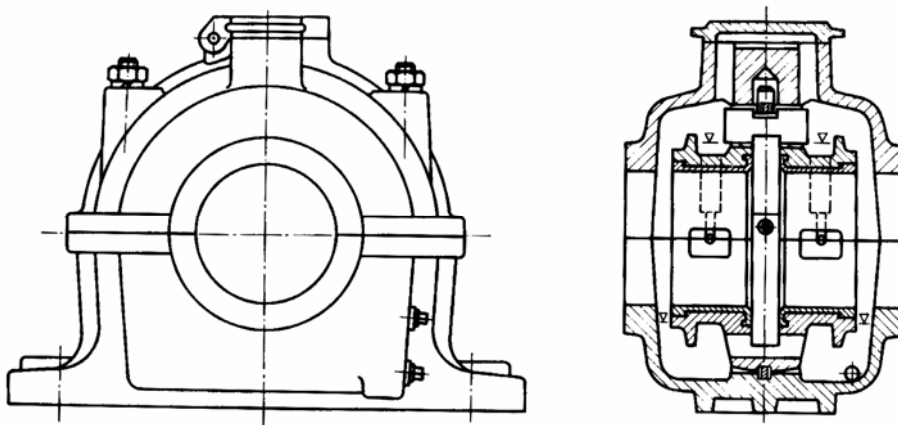
- jednostavnost konstrukcije i izrade
- mala osetljivost na udare
- pogodna za velike brzine

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Nedostaci:

- veći otpor trenja u odnosu na kotrljajna
- veća potrošnja maziva
- veće zagrevanje u odnosu na kotrljajna

Razlikujemo jednodelna i dvodelna klizna ležišta. Jednodelna se koriste kad su manji prečnici rukavca i kad se montaža ležaja može izvesti aksijalno. Dvodelna (sl. 5.60) treba ugradjivati pri većim opterećenjima i kad aksijalna montaža nije moguća.



*Slika 5.60: Dvodelno klizno ležište*

### - Nosivost kliznog ležišta

Radni pritisak u kliznom ležištu mora biti doveden u propisane granice ( $p < p_{doz}$ ) varijacijom (smanjenjem) opterećenja ili povećanjem dimenzija dodirne površine. Za radijalno ležište (sl. 5.61a) biće:

$$p = \frac{F_r}{A} = \frac{F_r}{d \cdot l} \leq p_{doz},$$

a za aksijalno ležište (sl. 5.61b):

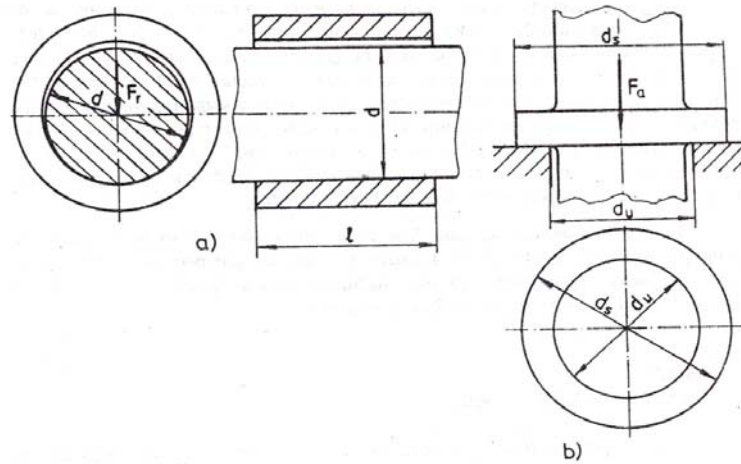
$$p = \frac{F_a}{A} = \frac{F_a}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_s^2 - d_u^2)} \leq p_{doz}$$

Za izabrane dimenzije, sila koja odgovara dozvoljenom pritisku je nosivost ležišta:

$$F = A \cdot p_{doz}$$

### 2) Kotrljajni ležaji

Prvenstveno se koriste za pokretne veze sa kružnim kretanjem, a u manjoj meri i za spojeve sa pravolinijskim i zavojnim kretanjem.

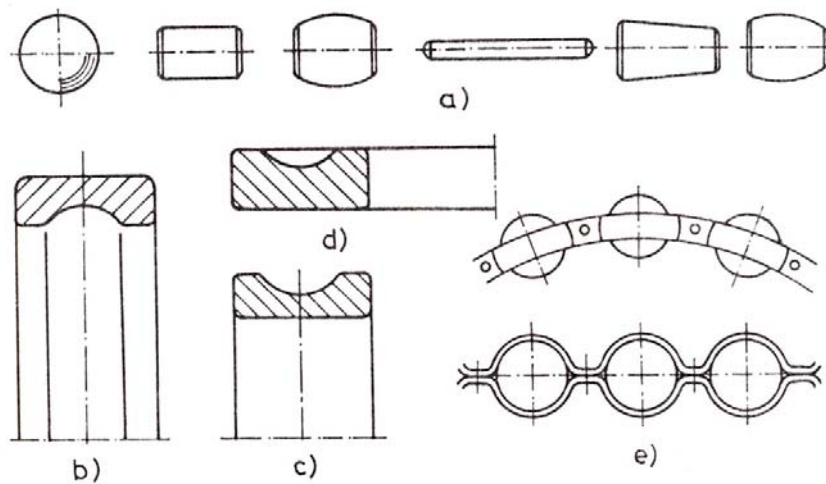


**Slika 5.61:** Klizni ležaji: a) radijalni, b) aksijalni

Kotrljajni ležaji se sastoje iz prstenova ili kolutova (spoljašnjeg i unutrašnjeg) koji su neposredno spojeni sa nepokretnim i pokretnim delovima mašina i iz kotrljajnih tela koja se nalaze između njih i kaveza (sl. 5.62).

Kotrljajni ležaji se prema obliku kotrljajnog tela (sl. 5.62a) dele na:

- kuglična
- igličasta
- valjkasta
- konična
- bačvasta



**Slika 5.62:** Delovi kotrljajnih ležaja: a) kotrljajna tela, b) spoljni prsten, c) unutrašnji prsten, d) kolut, e) držač kotrljajnih tela (kavez)

Prema broju prstena po širini elementa mogu biti: jednoredni i višeredni.

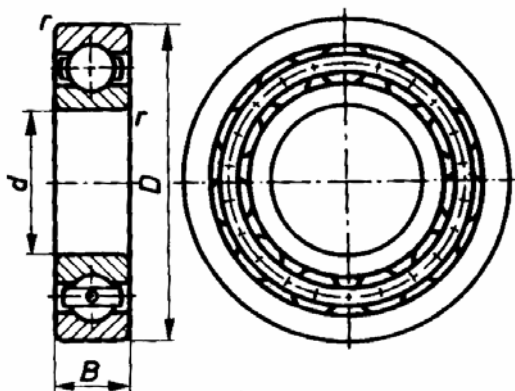
## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Karakteristike ovih ležaja su:

1. *dinamička nosivost* ( $C$ ) - opterećenje koje ležaj može preneti u toku ukupnog broja obrta  $N$  sa verovatnoćom razaranja do 0,1 (što znači da kod 100 ležaja do ukupnog broja promena u radnom veku  $N$  razaranje može nastati do 10).
2. *statička nosivost* ( $C_0$ ) - opterećenje koje pri mirovanju ležaja izazove trajne (plastične) deformacije kotrljajnih tela i prstenova, veličine  $10^{-4}$  prečnika kotrljajnog tela.
3. *dinamičko ponašanje* - vibracije, šum
4. sposobnost da istovremeno prenosi radijalnu i aksijalnu silu
5. *prilagodjavanje* prstena međusobnom položaju vratila i oslonca
6. *podešavanje* radijalnog i aksijalnog zazora u ležaju

### - Označavanje kotrljajnih ležaja

Kod označavanja kotrljajnog ležaja su bitni: unutrašnji prečnik (prečnik provrta -  $d$ ), spoljašnji prečnik ( $D$ ), i širina ležaja ( $B$ ) - sl. 5.63.



*Slika 5.63: Kuglični kotrljajni ležaj*

Za jedan unutrašnji prečnik uvode se više spoljašnjih prečnika i širina, čime se obezbeđuje niz različite nosivosti ležaja.

Označavanje je dato u SRPS M.C3.506, a pored osnovne ležaj sadrži i dopunsku oznaku koja se odnosi na: modifikaciju konstrukcije, unutrašnji zazor i tolerancije, mazivo i zaštitna sredstva.

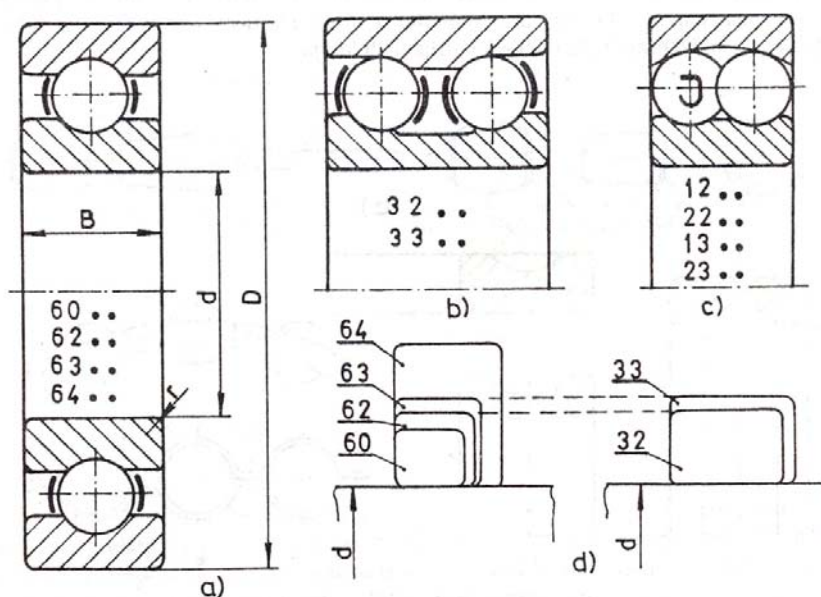
### - Vrste i karakteristike

#### a) Radijalni ležaji

**Radijalni-jednoredi kuglični ležaj** (sl. 5.64a) služi za prenošenje prvenstveno radijalnih sila sa vratila (ili osovine). Takodje, ovaj ležaj može preneti i aksijalne sile koje nisu veće od 70% nosivosti ležaja. Kod ovog ležaja broj kuglica je relativno mali i ograničen je mogućnošću sklapanja. Broj kuglica može biti uvećan, ako se na prstenima načini bočno proširenje u vidu otvora za punjenje. Na ovaj način, radijalna nosivost se

povećava do 1,4 puta, međutim ležaji sa otvorom za punjenje ne mogu prenositi aksijalna opterećenja. Radijalni-jednoredi kuglični ležaj je najšire zastupljen u primeni u poredjenju sa drugim ležajima.

**Radijalni-dvoredi kuglični ležaj** (sl. 5.64b) je povećane nosivosti, radijalne i aksijalne. Nije rasklopiv, ima mali zazor i nije pogodan za visoke učestanosti obrtanja vratila. Ugrađuje se samo u onim osloncima gde je krutost vratila visoka, jer je osetljiv na elastične deformacije vratila. Nije naročito zastupljen u primeni jer je pored navedenih nedostataka skup.



**Slika 5.64:** Radijalni kuglični ležaji: a) jednoredi, b) dvoredi, c) dvoredi podešljivi, d) upoređivanje veličina poprečnog preseka ležaja

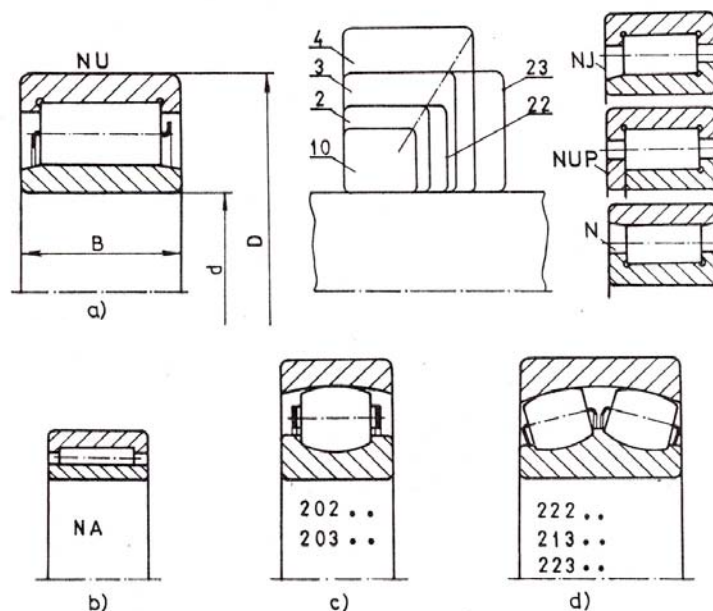
**Kuglični podesivi ležaj** (sl. 5.64c) uglavnom se ugrađuje u osloncima elastičnih vratila u kojima su prisutni relativno veliki nagibi elastične linije, tj. gde dolazi do znatnijeg savijanja vratila usled većeg opterećenja. Ova podesivost je postignuta oblikom unutrašnje površine spoljnog prstena. Kuglični podesivi ležaji nisu pogodni za prenošenje većih aksijalnih sila.

Na slici 5.64 pod a), b) i c) prikazane su prve dve cifre od četvorocifrene oznake tipa ležaja. Ove dve cifre oznake povezane su sa prečnikom i širinom ležaja (sl. 5.64 d)

**Valjčani ležaji** (sl. 5.65a) su veće nosivosti u odnosu na kuglične i to čak do 1,7 puta. Koriste se za prenošenje velikih radijalnih sila kod izrazito krupnih vratila. Njima nije moguće prenošenje aksijalnog opterećenja. Obično su rasklopivi i ta rasklopivost se postiže aksijalnim pomeranjem jednog ili drugog prstena, u jednom ili oba smera. Rasklopivost omogućuje ugradnju maksimalnog broja kotrljajnih tela, što se odražava na povećanje nosivosti.

**Iglični ležaji** (sl. 5.65b) su u poredjenju sa valjčanim veće nosivosti, a manjih gabarita. Za isti prečnik provrta (d) kod ovog ležaja se ugrađuje veći broj kotrljajnih tela, a smanjena je debljina ležaja tj. smanjen je spoljni prečnik. Ovi ležaji se odlikuju visokom radijalnom nosivosti, ali prenošenje aksijalnih sila nije moguće kao što nisu dopuštene ni deformacije vratila, odnosno, rukavaca.

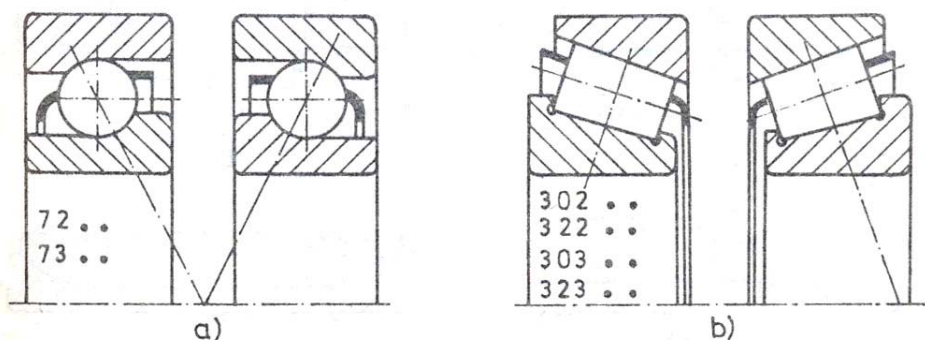
Na slici 5.65c prikazan je **podesivi ležaj sa jednim redom bačvica**, a na slici 5.65d **podesivi ležaj sa dva reda bačvica**. Odlikuju se visokom nosivošću, visokom prilagodljivosti elastičnim deformacijama vratila. Nisu pogodni za prenošenje većih aksijalnih sila, niti su osetljivi na udare. Primenuju se za vrlo teške uslove rada, i vrlo su skupi u poredjenju sa drugim ležajima.



**Slika 5.65:** Radijalni ležaji: a) valjčani, b) iglični, c) podesivi ležaj sa jednim redom bačvica, d) podesivi ležaj sa dva reda bačvica

#### b) Radiaksijalni ležaji

Ovi ležaji pogodni su za prenošenje i radijalnih i aksijalnih sila. Od radijalnolaksijalnih ležaja dosta često se ugrađuju: jednoredi kuglični ležaj sa kosim dodirom i sa "X" ugradnjom, b) konusno valjčani ležaj sa "O" ugradnjom



**Slika 5.66:** Radiaksijalni ležaji: a) jednoredi kuglični ležaj sa kosim dodirom i sa "X" ugradnjom, b) konusno valjčani ležaj sa "O" ugradnjom

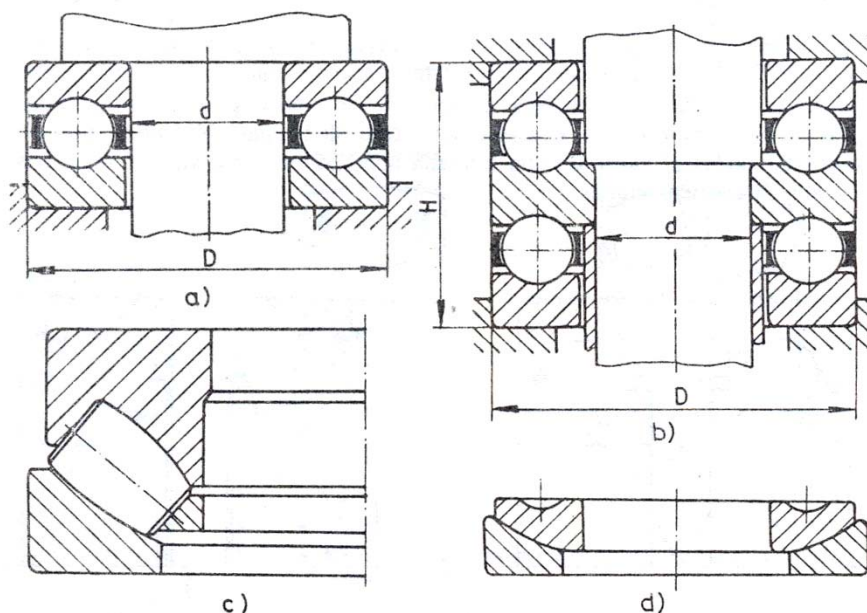
dodir prstena i kotrljajnog tela (kuglice odnosno valjka) koji omogućava relativno veliki prijem aksijalne sile u poredjenju sa radijalnom. Pošto se tokom rada dejstvom radijalne sile na kosu površinu indukuje aksijalna sila sa tendencijom da rasklopi ležaj tj. da istisne unutrašnji prsten u odnosu na spoljni. Da bi se poništilo dejstvo ove indukovane aksijalne sile, ova dva tipa ležaja se ugrađuju u paru. Normale na dodirne površine u ovako formiranim parovima mogu obrazovati slovo "X" (sl. 5.66a) ili slovo "O" (sl. 5.66b). I kod "X" i "O"-ugradnje unutrašnji zazor u ležaju se može podešavati.

**Jednoredi kuglični ležaj sa kosim dodirom** je rasklopiv. Ima jednostranu kotrljajnu stazu u koju je moguće ugraditi znatno više kuglica što se odražava na povećanje nosivosti. Prenosenje aksijalne sile moguće je samo u jednom smeru, što se kompenzuje, kako je već opisano, ugradnjom u parovima. Izrađuju se u dve veličine za isti prečnik provrta, sa oznakom 72.. i 73.., sa dodatkom oznake prečnika provrta.

**Konusno-valjčani ležaj** sastoji se iz spoljnog konusnog prstena koji je rasklopiv i unutrašnjeg prstena koji se ne može odvajati od kotrljajnih valjaka i kaveza. Odlikuju se visokom nosivošću i posle kugličnih jednorednih ležaja sa radijalnim dodirom, najšire su zastupljeni u primeni. Izvode se u pet veličina (redova mera) za svaki prečnik provrta.

### c) Aksijalni ležaji

**Aksijalni kolutni ležaj** može biti jednoredi (sl. 5.67a) i dvoredi (sl. 5.67b).



**Slika 5.67:** Aksijalni (kolutni) ležaji: a) jednoredi kuglični, b) dvoredi kuglični, c) konusno bačvasti, d) oslanjanje sfernih koluta

Jednoredi kuglični ležaj služi za prenošenja aksijalne sile samo u jednom smeru, dok se dvoredni primenjuje za dvosmerno aksijalno opterećenje. Ovi ležaji ne mogu prenositi nikakvu radijalnu silu. Ako u osloncu takva sila postoji, potrebno je ugraditi drugi ležaj za njeno prenošenje, ili radiaksijalni ili pored aksijalnog postaviti i radijalni, u zavisnosti šta se želi postići odnosno koja opterećenja preneti. Kolutni ležaji nisu prilagodljivi

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

elastičnim deformacijama vratila. Ovaj nedostatak se delimično može otkloniti tako što se koluti oslone na sferne površine, kao što je to na slici 5.67d prikazano.

**Kolutni konusno-bačvasti ležaj** (sl. 5.67c) za razliku od prethodnog sa aksijalnim dodirom, osim aksijalnih, može preneti i znatne radijalne sile. Prilagodljiv je elastičnim deformacijama vratila, ali se izrađuje samo za veće prečnike provrta.

### - Ekvivalentno opterećenje i nosivost

Proračunavanje ležaja svodi se na određivanje opterećenja koja ležaj može da prenese, na izbor vrste i veličine ležaja i izračunavanje njegovog radnog veka. Ekvivalentno, ukupno, opterećenje ležaja  $F$  dobija se na osnovu geometrijskog zbira radijalne  $F_r$  i aksijalne komponente  $F_a$  otpora oslonaca. Kako su geometrijski odnosi na mestu dodira kotrljajnih tela i prstenova svakog ležaja određeni, to se sabiranje komponenata svodi na algebarski zbir istih, pa se ekvivalentno opterećenje se računa preko izraza:

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

gde su:  $X$ ,  $Y$  uticajni faktori koji se u zavisnosti od tipa ležaja usvajaju iz Tabele 5.6.

Treba imati na umu da radijalna sila  $F_r$  predstavlja vektorski zbir svih radijalnih sila u osloncu (rukavcu vratila) gde je ležaj ugradjen. Ako su u tom osloncu reakcije u ravni  $xz$ ,  $F_x$  (slika 5.59 iz Poglavlja: Opterećenje vratila, bilo da je oslonac A ili B), a u ravni  $yz$ ,  $F_y$ , ukupno radijalno opterećenje ležaja je:

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Aksijalno opterećenje  $F_a$  jednako je aksijalnoj reakciji oslonca, ako je izabran da prenosi aksijalnu silu.

Ako se opterećenje menja od  $F_{\min}$  do  $F_{\max}$  pri  $n=\text{const.}$  srednje ekvivalentno opterećenje iznosi:

$$F = \frac{F_{\min} + 2 \cdot F_{\max}}{3} \quad \text{- za kuglične}$$

$$F = (0,63 \div 0,66) \cdot (F_{\min} + 2 \cdot F_{\max}) \quad \text{- za valjčane}$$

Za ležaje koji rade pri  $n < 10 \text{ min}^{-1}$  ili miruju u određenom periodu:

$F_0 = X_0 \cdot F_{r0} + Y_0 \cdot F_{a0}$ , gde su  $F_{r0}$  i  $F_{a0}$  statičke komponente opterećenja, a  $X_0$  i  $Y_0$   $X$ ,  $Y$  uticajni faktori pri statičkom opterećenju. Ako je pri računu  $F_0 < F_{r0}$ , usvaja se  $F_0 = F_{r0}$ .



## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

**Tabela 5.6:** Pregled pokazatelja osobina kotrljajnih ležajeva

| Ležaj                                    | $e$                                                                                                                                                            | $F_a/F_r < e$<br>$X \quad Y$ | $F_a/F_r > e$<br>$X \quad Y$                                      | $X_0 \quad Y_0$ | $\frac{C}{C_0}$ | $\gamma_{\max}$                       | $n_{\max}$<br>$s^{-1}$                                                                                                          | $\frac{T_{10}}{T_{16}}$ |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 60<br>62<br>63<br>64<br>(BC)             | $F_a/C_0 = 0,028 \quad 0,22$<br>0,056 0,26<br>0,084 0,28<br>0,11 0,30<br>0,17 0,34<br>0,28 0,38<br>0,42 0,42<br>0,56 0,44                                      | 1 0                          | 0,56 1,99<br>1,71<br>1,55<br>1,45<br>1,31<br>1,15<br>1,04<br>1,00 | 0,6 0,5         | 1               | 8' ... 16'                            | $Z_a \quad D < 3 \text{ cm}$<br>$\frac{1500}{D/\text{cm} + 1}$<br>$Z_a \quad D > 3 \text{ cm}$<br>$\frac{750}{D/\text{cm} - 1}$ | 1                       |
| 72,73 (BN)                               | 1,14                                                                                                                                                           | 1 0                          | 0,35 0,57                                                         | 0,5 0,26        | 1,05 ... 1,2    | 0' ... 2'                             |                                                                                                                                 | 1 ... 1,3               |
| 32,33 (BG)                               | 0,86                                                                                                                                                           | 1 0,73                       | 0,62 1,17                                                         | 1 0,63          | 1,4 ... 1,7     | 0'                                    | $\frac{530}{D/\text{cm} - 1}$                                                                                                   | 2                       |
| 12 (BS02)                                | $d = 15 \dots 25 \text{ mm} \quad 0,31$<br>30 mm 0,25<br>35 mm 0,24<br>40 ... 50 mm 0,22<br>55 ... 60 mm 0,20<br>65 ... 70 mm 0,19<br>75 ... 120 mm 0,18       | 1 2,9                        | 0,65 3,2<br>2,5 3,85<br>2,65 4,1<br>4,5<br>5,0<br>5,3<br>5,4      | 1 0,68 Y        | 0,7 ... 0,8     | 2° ... 4°                             | $Z_a \quad D < 3 \text{ cm}$<br>$\frac{1500}{D/\text{cm} + 1}$<br>$Z_a \quad D > 3 \text{ cm}$<br>$\frac{750}{D/\text{cm} - 1}$ | 1                       |
| 13(BS03)                                 | 10 ... 15 mm 0,33<br>20 ... 25 mm 0,30<br>30 ... 40 mm 0,26<br>45 ... 55 mm 0,25<br>60 ... 100 mm 0,23<br>110 mm 0,25<br>120 mm 0,23                           | 1 2,55                       | 0,65 3,0<br>2,1 3,25<br>2,35 3,65<br>3,95<br>4,1<br>3,9<br>4,25   |                 |                 |                                       |                                                                                                                                 |                         |
| 22 (BS22)                                | $d = 15 \dots 20 \text{ mm} \quad 0,47$<br>25 mm 0,39<br>30 ... 35 mm 0,37<br>40 ... 45 mm 0,31<br>50 ... 70 mm 0,27<br>75 ... 85 mm 0,25<br>90 ... 95 mm 0,27 | 1 2,05                       | 0,65 2,1<br>1,6 2,5<br>1,75 2,65<br>3,15<br>3,55<br>3,8<br>3,6    |                 |                 |                                       |                                                                                                                                 |                         |
| NU, N, NJ,<br>NUP<br>(RU, RN, RJ,<br>RT) |                                                                                                                                                                | 1 —                          | 1 —                                                               | 1 —             | 1,4 ... 1,9     | 0 ... (2')                            | $\frac{750}{D/\text{cm} - 1}$                                                                                                   | 1,3 ... 1,5             |
| Iglični NA                               |                                                                                                                                                                | 1 —                          | 1 —                                                               | 1 —             | 2 ... 2,6       |                                       | $\frac{600 \dots 750}{D/\text{cm} - 1}$                                                                                         |                         |
| 222(SD22)                                | $d = 40 \dots 45 \text{ mm} \quad 0,27$<br>50 ... 100 mm 0,23<br>110 ... 220 mm 0,26                                                                           | 1 2,5<br>2,9 0,67<br>2,6 3,9 | 2,7 4,4<br>3,9                                                    | 1 0,68 Y        | 2 ... 2,6       | 30' ... 2°                            | $\frac{530}{D/\text{cm} - 1}$<br>za 222 i 223                                                                                   | 2,7 ... 3               |
| 223(SD23)                                | 40 ... 50 mm 0,42<br>55 ... 60 mm 0,40<br>65 ... 140 mm 0,37                                                                                                   | 1 1,6<br>1,7 0,67<br>1,8 2,7 | 2,4 2,5<br>2,7                                                    |                 |                 |                                       |                                                                                                                                 |                         |
| 302(KB02)                                | 15 ... 20 mm 0,35<br>25 ... 40 mm 0,38<br>45 ... 120 mm 0,42                                                                                                   | 1 0                          | 0,4 1,75<br>1,6 1,45                                              |                 |                 |                                       |                                                                                                                                 |                         |
| 303(KB03)                                | 20 ... 35 mm 0,30<br>40 ... 100 mm 0,34                                                                                                                        | 1 0                          | 0,4 2,0<br>1,75                                                   | 0,5 0,55 Y      | 1,6 ... 2,3     | 0 (2')                                | $\frac{530}{D/\text{cm} - 1}$                                                                                                   | 2                       |
| 322(KB22)                                | $d = 30 \dots 40 \text{ mm} \quad 0,37$<br>45 ... 110 mm 0,41<br>120 mm 0,43                                                                                   | 1 0                          | 0,4 1,6<br>1,45 1,35                                              |                 |                 |                                       |                                                                                                                                 |                         |
| 323(KB23)                                | 25 ... 35 mm 0,30<br>40 ... 75 mm 0,34                                                                                                                         | 1 0                          | 0,4 2,0<br>1,75                                                   |                 |                 |                                       |                                                                                                                                 |                         |
| 512, 513, 523<br>(TA, TD)                |                                                                                                                                                                | — 1                          | — 1                                                               | — 1             | 2 ... 2,6       | 0; a sa<br>sfern.<br>prsten. do<br>2° | $\frac{233}{D/\text{cm} - 1}$                                                                                                   | 1                       |
| 294(TS)                                  |                                                                                                                                                                | 1,5 1                        | 1,5 1                                                             | 3 1             | 5,5 ... 8       | 2°                                    | $\frac{233}{D/\text{cm} - 1}$                                                                                                   |                         |

### - Podmazivanje i zaptivanje

Uloga maziva, u koje spadaju masti i ulja, je da smanji koeficijent trenja i da deo stvorene toplote odvede iz ležišta.

Kod kliznih ležaja se kao mazivo koristi ulje, uglavnom mineralno, a može da bude i biljnog i životinjskog porekla.

Kod kotrljajnih ležaja podmazivanje može biti:

- 1) mašću, pri  $n < 3000 \text{ min}^{-1}$  i za radne temperature  $t < 125^\circ\text{C}$ , pri čemu se mašću puni  $30 \div 50\%$  slobodnog prostora ležaja
- 2) uljem, pri  $n > 3000 \text{ min}^{-1}$  i za radne temperature  $t < 125^\circ\text{C}$ .

Načini podmazivanja uljem bili bi: uljnom maglom, uljnom kadom, pod pritiskom, fitiljem i sl.

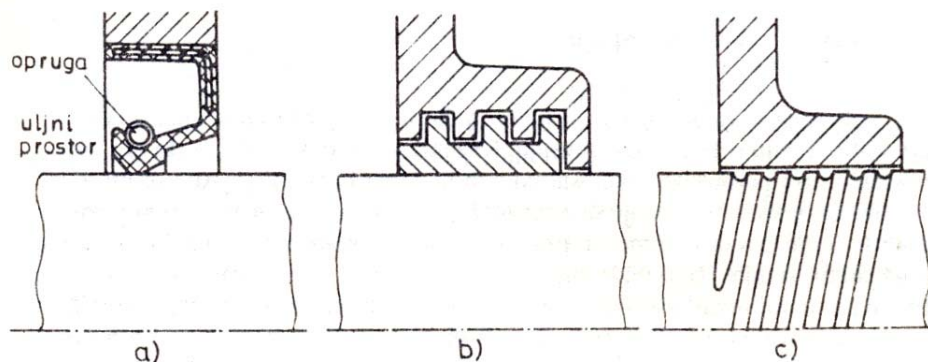
*Uljnom maglom* - se odvija u zatvorenom prostoru (kućištu prenosnika) gde: zupčanici, specijalni delovi sa lopaticama, prsten i sl., bućkaju i raspršuju ulje u ležaj.

*Uljnom kadom* - tako da su kotrljajna tela potopljena od  $1/3$  do  $1/2$  prečnika ležaja

*Uljem pod pritiskom* - pumpa sa sistemom za hladjenje kod visokog broja obrta i temperatura.

Zaptivanje sprečava prodiranje: prašine, vlage, vode u ležaj, kao i izlaženje maziva iz ležaja.

Može biti: labirintno (stepenasti kanali kao lavirint) i zaptivnim elementima. Na slici 5.68 su prikazani neki od načina zaptivanja.



**Slika 5.68:** Zaptivanje prostora za ležaje oko vratila: a) gumenim zaptivačem sa oprugom, b) labirintsko zaptivanje, c) zaptivanje zavojnim žljebom.

### 5.3.3 SPOJNICE

Služe za spajanje dva saosna ili približno saosna mašinska elementa (vratila, ali redje i zupčanika, lančanika, remenica i sl.), a radi prenošenja obrtnog kretanja sa jednog obrtnog dela (pogonskog), na drugi (gonjeni).

U konstruktivnom pogledu, osnovni delovi spojnice su dva oboda, čvrsto vezana za obrtne elemente koje spajaju, kao i delovi za krutu odnosno elastičnu vezu tih oboda.

Osnovna podela je na: nerazdvojive i razdvojive.

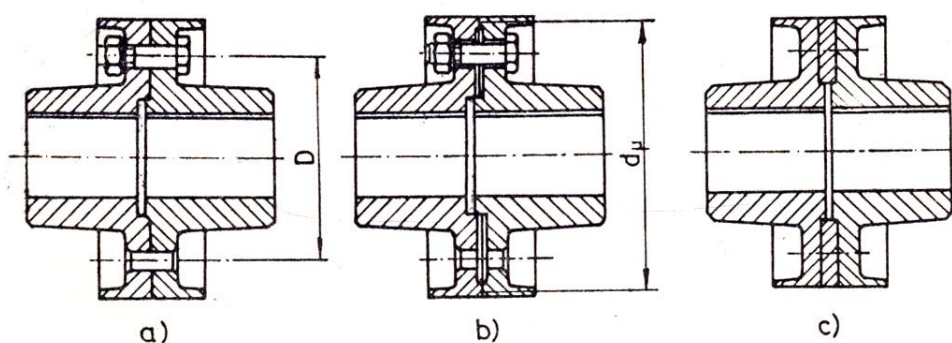
## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

1. **Nerazdvojive.** Kod ovih spojnica postiže se stalna veza spojenih delova koja se može razdvojiti samo rasklapanjem spojnice.

Ove nerazdvojive spojnice mogu biti: krute i prilagodljive.

a) **krute spojnice.** Kod ovih spojnica je potrebna idealna saosnost elemenata koji se spajaju. Odlikuju se malim gabaritima u odnosu na obrtni moment koga mogu da prenesu. Razlikuju se po načinu prenošenja obrtnog momenta i po načinu centriranja. Ovde će biti reči samo o nekim koje se najviše susreću u praksi:

- **Kruta spojnica sa obodima** (sl. 5.69). Sastoji se od po dve glavčine sa obodima koji su spojeni vijcima. Vijci mogu biti podešeni ili nepodešeni.



**Slika 5.69:** Kruta spojnica sa obodima: a) sa podešenim vijcima, b) sa nepodešenim vijcima, c) sa poluprstenima za centriranje

Ako se prenošenje obrtnog momenta ostvaruje posredstvom podešenih vijaka (sl. 5.69a), pri čemu je prečnik stabla vijka  $D_s$  jednak prečniku otvora kroz koji prolazi, onda je poprečna sila smicanja najopterećenijeg vijaka:

$$F_s = \frac{2M}{zD}$$

gde su:

M-obrtni moment koji se prenosi,

D-prečnik na kome su vijci raspoređeni

z-broj vijaka

Primenjuju se vijci za tačno naleganje, sa prečnikom stabla  $D_s$ , po kome su izloženi smicanju:

$$\tau = \frac{4F_s}{D_s^2\pi}; \quad S_T = \frac{\tau_T}{\tau}$$

Osim toga vijci su izloženi i površinskom pritisku:

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

$$p = \frac{F_s}{D_s b}; \quad S_T = \frac{1,2\sigma_T}{p}$$

gde je  $\sigma_T$  granica tečenja slabijeg materijala u dodiru. To je po pravilu materijal oboda spojnice koji je obično od čeličnog liva ili od konstrukcionog čelika.

Kod veze oboda vijcima za nepodešenu vezu (sl. 5.69b) prečnik stabla vijka  $D_s$  je manji od prečnika otvora za vijak, pa se obrtni moment prenosi posredstvom trenja na dodiru oboda. Dodir je koncentrisan na periferiji oboda gde je prečnik na kome deluje sila trenja,  $d_\mu$ , najveći. Na tom dodiru potrebno je ostvariti normalnu silu pritiska  $zF_{is}$  koja je dovoljna da spreči proklizavanje oboda:

$$zF_{is}\mu\frac{d_\mu}{2} = S_\mu M$$
$$F_{is} = \frac{2S_\mu M}{z\mu d_\mu}$$

Zbog opasnosti od labavljenja, vijci se pritežu većom silom:

$$F_p = \xi_p F_{is}$$

gde je:

$\xi_p$  – faktor pritezanja koji se uzima u granicama  $1,5 \div 2$  za statičko radno opterećenje, i  $2 \div 4$  za dinamičko radno opterećenje. Proverava se još i stepen sigurnosti protiv plastičnih deformacija vijka na kraju procesa pritezanja momentom  $M_p$ . Pošto je reč o složenom naponskom stanju kako je vijak opterećen na istezanje i uvijanje ukupan stepen sigurnosti biće:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_T}{\sigma}; \quad \sigma = \frac{F_p}{A_3}$$
$$S_\tau = \frac{\tau_T}{\tau}; \quad \tau = \frac{T_n}{0,2d_3^2}$$

$$S = \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}}$$

Ovaj ukupni stepen sigurnosti nakon pritezanja  $S$  treba da je između  $1,25 \div 1,6$ .

$S$  obzirom da je raspodela opterećenja povoljnija kod nepodešenih vijaka i s obzirom da je  $d_\mu > D$  (sl. 5.69), varijanta sa nepodešenim vijcima je povoljnija. Osim toga nije potrebna fina dorada vijaka i otvora.

Centriranje jednog oboda spojnice u odnosu na drugi, vrši se pomoću ispusta na jednoj polutki koji zalazi u odgovarajuće udubljenje u drugoj. Pri ugradnji potrebno je jednu polutku zajedno sa vratilom i celom mašinom sa kojom je u vezi, aksijalno pomerati. Ako ovo nije moguće primenjuje se spojnica sa dvodelnim prstenom za centriranje (sl. 5.69c). Prsten je rasečen u pravcu prečnika te se radijalnim primicanjem polutki, dovode vratila u saosnost.

Kruta spojnica sa obodima se dimenzioniše tako da se ostvari dovoljna nosivost vijčane veze i dovoljna nosivost spoja glavčine i vratila posredstvom klina bez nagiba.

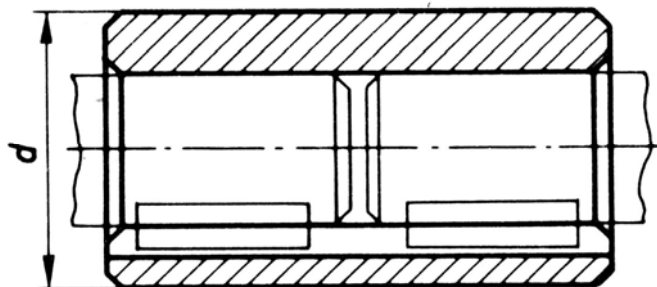
## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

- **Čaurasta spojnica** (sl. 5.70). Kao što se sa slike 5.70. vidi spojnica ima oblik čaure od čelika ili sivog liva, i navučena je na krajeve vratila sa kojima je spojena najčešće putem klina, a može i žljebnim spojem ili zavrtnjevima za pričvršćivanje. Mere spojnice se određuju u zavisnosti od prečnika vratila ( $d_v$ ):

$$d = (1,4 \dots 1,8)d_v - \text{spoljni prečnik čaure}$$

$$L = (2,5 \dots 3,5)d_v - \text{dužina čaure}$$

Čauraste spojnice su jednostavne konstrukcije i primenjuju se tamo gde je saosnost vratila unapred obezbeđena, a pod uslovom da se bar jedno od njih može osno pomerati pri ugradnji spojnice.



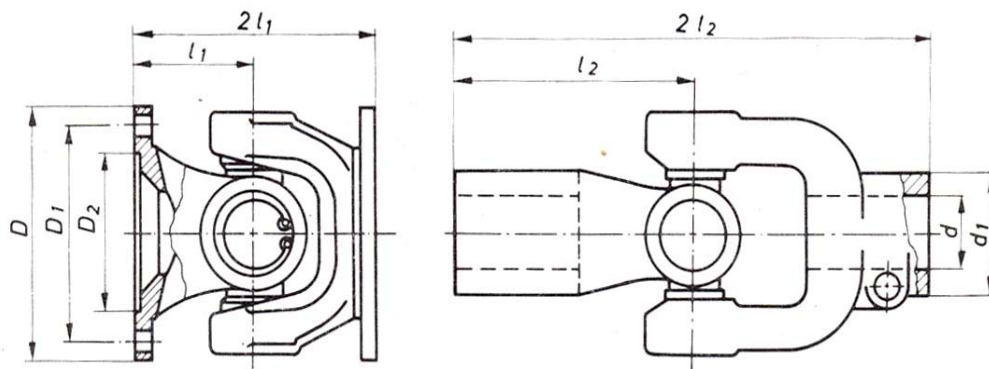
*Slika 5.70: Čaurasta spojnica*

Dobre osobine prirubnih spojnica su jednostavnost konstrukcije i izrade, sposobnost prenošenja velikih momenata uz male gabaritne mere, lako uravnotežavanje. Prirubne spojnice predstavljaju najrasprostranjeniji tip krutih spojnica.

**b) prilagodljive spojnice.** Ove spojnice uvedene su pre svega zbog nekoaksijalnosti vratila nastale usled netačnosti izrade ili tokom rada.

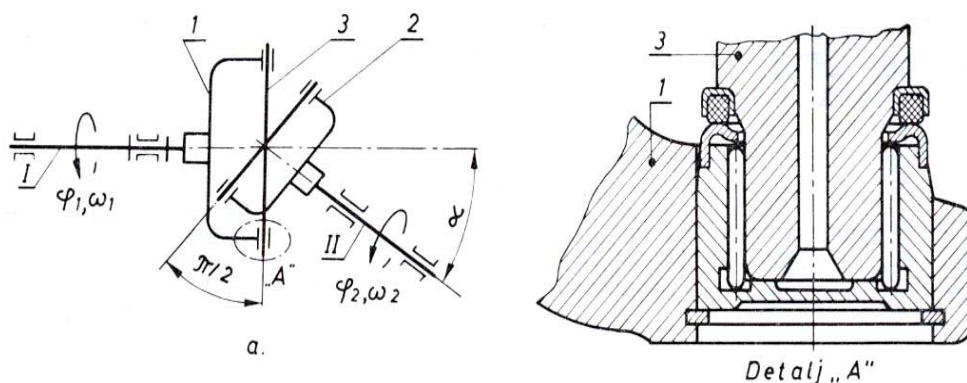
- **Kardanova (zglobna) spojnica** (sl.5.71). Omogućava spoj vratila čije se ose seku pod uglom od koga zavisi broj obrta na izlaznom (gonjenom) vratilu. Ovaj ugao ( $\alpha$ ) može biti i stalan, ali je najčešće promenljiv u granicama  $5^\circ < \alpha < 30^\circ$ . Međutim, iako dozvoljava velika uglovna pomeranja vratila u toku rada, ova spojnica nije pogodna za velike snage i velike gabarite vratila.

Primer primene Kardanove spojnice kod kombinovane alatne mašine za obradu drveta dat je na slici P.10 u Prilogu.



**Slika 5.71:** Kardanova spojnica

Pri obrtanju vratila rukavci osciluju u ušicama viljuška, zbog čega se zglobna veza ostvaruje najčešće igličastim kotrljanim ležajima (sl.5.72, detalj A), a redje kliznim ležistima.

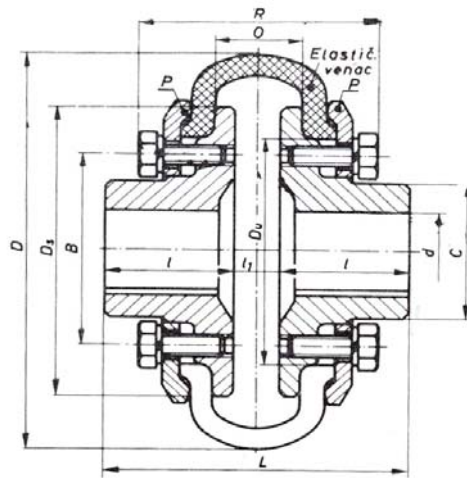


**Slika 5.72:** Šema asihrone Kardanove spojnice sa detaljem zglobne veze igličastim ležajem

Bitno obeležje i nedostatak ovakve Kardanove spojnice je periodična promenljivost ugaone brzine i obrtnog momenta gonjenog vratila, pri stalnim vrednostima ugaone brzine i obrtnog momenta pogonskog vratila, tj. **asinhronost obrtanja**. Pri konstantnoj ugaonoj brzini pogonskog vratila 1 (sl 5.72), ugaona brzina gonjenog vratila 2, do pola kruga (obrta) se povećava, a u toku druge polovine se smanjuje. Da bi se ovaj problem otklonio, sinhrono obrtanje pogonskog i gonjenog vratila postiže se rednim vezivanjem dve ili više asinhronih Kardanove spojnice pod određenim uslovima.

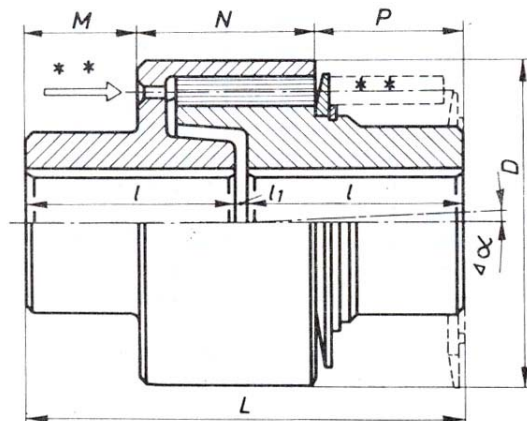
- **Spojница sa elastičnim vencem** (sl. 5.73). Kao što se sa slike vidi obodi ove spojnice obuhvaćeni su elastičnim vencem. Venac je obično gumeni sa ojačanim platnom. Obrtni moment se prenosi pomoću otpora klizanju između dodirnih površina oboda i venca. Potreban pritisak se ostvaruje pomoću prstenova pritisnutih zavrtnjima uz obode.





**Slika 5.73:** Spojnica sa elastičnim vencićem

- **Spojnica sa gumenim valjčićima** (sl. 5.74). Jedan obod ove spojnice je sa unutrašnjim ozubljenjem i uvučen je u drugi obod sa spoljnim ozubljenjem. Gumeni valjci srazmerno velike dužine, a malog prečnika postavljeni su u medjuzublje (sl. 5.74). Ovi valjci omogućavaju relativno pomeranje oboda spojnice.



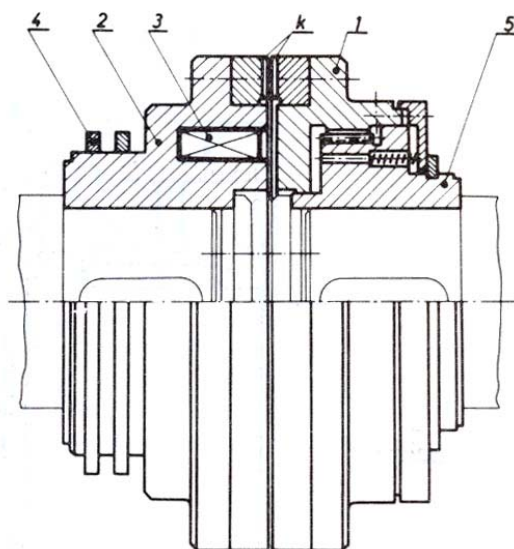
**Slika 5.74:** Spojnica sa dugim gumenim valjčićima

Najveća prednost ove spojnice u odnosu na ostale je što za istu nosivost ima znatno manji prečnik  $D$ , uz jednostavan oblik elastičnih elemenata (valjčića) i njihovu zamenu. Spojnica omogućava odstupanje položaja spojenih delova, prvenstveno podužnih i ugaonih  $\Delta\alpha < 2^\circ$ .

**2.Razdvojive spojnice.** Ove spojnice omogućavaju uspostavljanje i prekidanje veze spojenih vratila ili drugih obrtnih delova koje spajaju. Koriste se kad je potrebno odvojiti gonjeni deo mašine, nekada zajedno i sa prenosnikom od pogonskog dela, koji pri tom može raditi na prazno. Mogu biti sa:

**a) sa trenutnim uključanjem i isključanjem**

- **Kandžasta spojnica** (sl.5.75) ima veći broj radijalnih zubaca (kandži)  $k$ , čiji je broj obično 15-60 trouglastog ili trapeznog oblika. Aksijalno pomeranje pokretnog oboda (1) ka i od nepokretnog oboda (2), vrši se pomoću elektromagneta (3), koji je napajan strujom preko prstenova (4). Veza glavčine (5) i pokretnog oboda (1) ostvaruje se pomoću žljebnog ili zupčastog spoja. Kandže mogu biti izradjene i na: zupčanicima, lančanicima i drugim elementima koje spajaju sa vratilom.



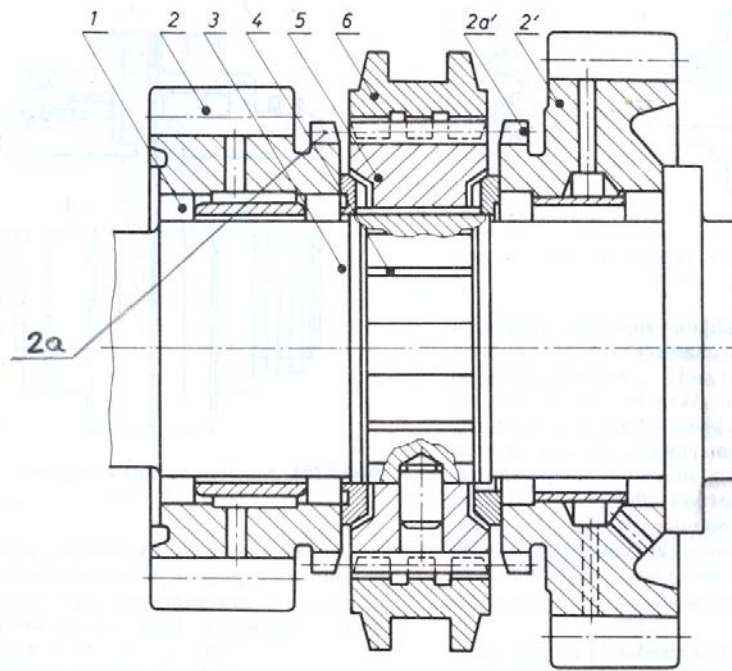
**Slika 5.75:** Kandžasta (radijalno-zupčasta) razdvojiva spojnica

Kandžaste spojnice se koriste za brzo ostvarivanje kinematički krute razdvojive veze u alatnim mašinama, menjačima, dizalicama, i sl.

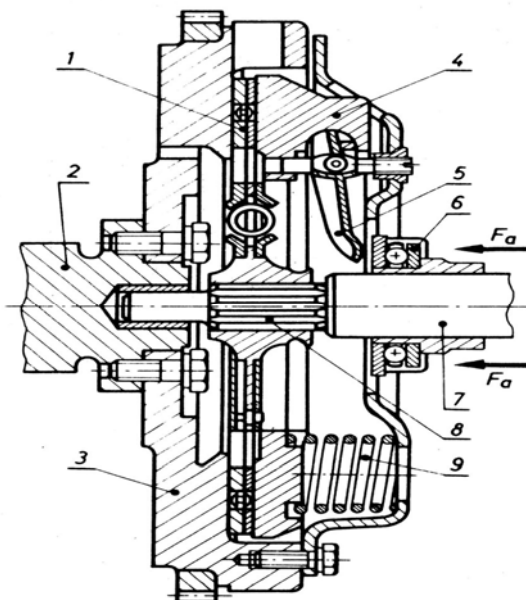
- **Zupčasta spojnica** (sl. 5.76). Ova spojnica je dvostrana tako da omogućava spajanje zupčanika (2 ili 2') sa pogonskim vratilom (3). Srednji unutarnji deo spojnice sa spoljašnjim ozubljenjem (5), je čvrsto vezan sa vratilom (3) pomoću žljebnog spoja (4). Venci (2a i 2a') sa istim takvim zupcima, izradjeni su izjedna sa zupčanicima (2 i 2'), koji su slobodno obrtni na vratilu (3), posredstvom kotrljajnih valjčanih ležaja (1). Spajanje zupčanika (2 ili 2') sa vratilom ostvaruje se pomeranjem obujmice (6) na jednu ili drugu stranu, pri čemu zupci obujmice ulaze u medjuzublja venaca (2a ili 2a').

Uključivanje-isključivanje spojnice vrši se delovanjem aksijalne sile preko sistema poluga na obujmicu (6).





*Slika 5.76: Zupčasta spojnica*



*Slika 5.77: Frikciona spojnica sa ravnim tarnim površinama*

***b) sa postepenim uključivanjem i isključivanjem***

U ove spojnice spadaju frikционе spojnice i kombinovane frikciono-zupčaste spojnice.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

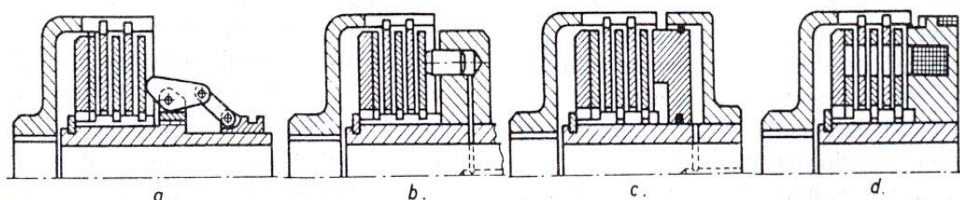
**Frikcione spojnice** prenose obrtni moment pomoću otpora klizanju, koje nastaje na dodirnim površinama oboda vezanih za vratila ili za druge obrtne elemente. Obrtni moment se postepeno prenosi i povećava – srazmerno pritisku na tarnim površinama, zahvajući proklizavanju prilikom uključivanja.

Osnovna prednost ovih spojnica u odnosu na spojnice sa trenutnim uključenjem i isključenjem su postepeno i duže trajanje procesa uključivanja, čime se smanjuju inercijalne sile ili udari usled spajanja delova koji se obrću različitim ugaonim brzinama.

Nedostatak ovih spojnica ogleda se u jačem zagrevanju i potrebi odvođenja toplote razvijene radom sila trenja za vreme klizanja; pored toga mala čvrstoća frikcionih materijala za obloge tarnih površina uslovljava veće prečnike i veći broj delova.

Oblik tarnih površina određuje konstrukcijski oblik frikcionih spojnica, tako da one mogu biti:

1) **sa ravnim tarnim površinama** (sl. 5.77 i sl. 5.78). Ove spojnice su najčešće u upotrebi zbog jednostavnog, i sa stanovišta funkcije i tehnologije najpogodnijeg oblika tarnih površina. Može postojati jedna ili više tarnih površina. Ako postoje više tarnih površina onda parove tarnih površina obrazuju aksijalno pokretne ploče tzv. lamele (sl. 5.78).



**Slika 5.78:** Načini ostvarenja sile pritiska na lamele frikcionih spojnica: (a) mehanički, (b) pneumatički, (c) hidraulički, (d) elektromagnetni

Na slici 5.77. dat je primer spojnice sa ravnim tarnim površinama. Aksijalno pokretnu lamelu (1), vezano žljebnim spojem (8) za gonjeno vratilo (7), obuhvataju diskove (3 i 4), nepokretno vezani za pogonsko vratilo (2). Diskovi trajno pritiskuju lamelu (1) silom opruga (9) raspoređenih po obimu diska (4), zbog čega je spojnica trajno uključena i može da prenosi obrtni moment.

Razdvajanje spojenih vratila, odnosno odstranjivanje pritiska opruga na tarne površine, postiže se dejstvom aksijalne sile  $F_a$  na potisni ležaj (6), preko poluge (5), koja odvaja disk (4) od lamele (1).

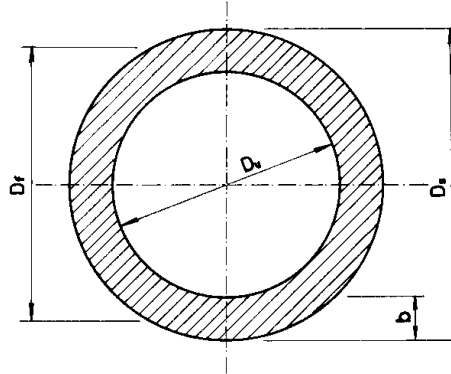
Osnovni elementi proračuna frikcionih spojnica podrazumevaju pre svega određivanje dimenzija frikcionog elementa (sl. 5.79), i postupno se odvijaju u sledećim koracima:

a) Maksimalni obrtni moment: 
$$M_{smax} = \frac{P \cdot S_\mu}{\omega} = M \cdot S_\mu; \omega_{EM} = \frac{\pi \cdot n_{EM}}{30}$$

b) Obimna sila na spojnici: 
$$F_{omax} = 2 \cdot \frac{M_{smax}}{D_f}$$

c) Sila pritiska na frikcionim površinama: 
$$F_N = \frac{F_{omax}}{\mu}$$

d) Potrebna površina trenja:  $A_f = \frac{F_N}{p_{doz}}$



**Slika 5.79:** Skica frikcionog elementa

e) Širina frikционе površine:  $b = \frac{A_f}{\pi \cdot D_f}$

f) Spoljnje mere frikcionog elementa:  $D_u = D_f - b$ ;  $D_s = D_f + b$

gde su:

M (Nm) – moment na spojnici

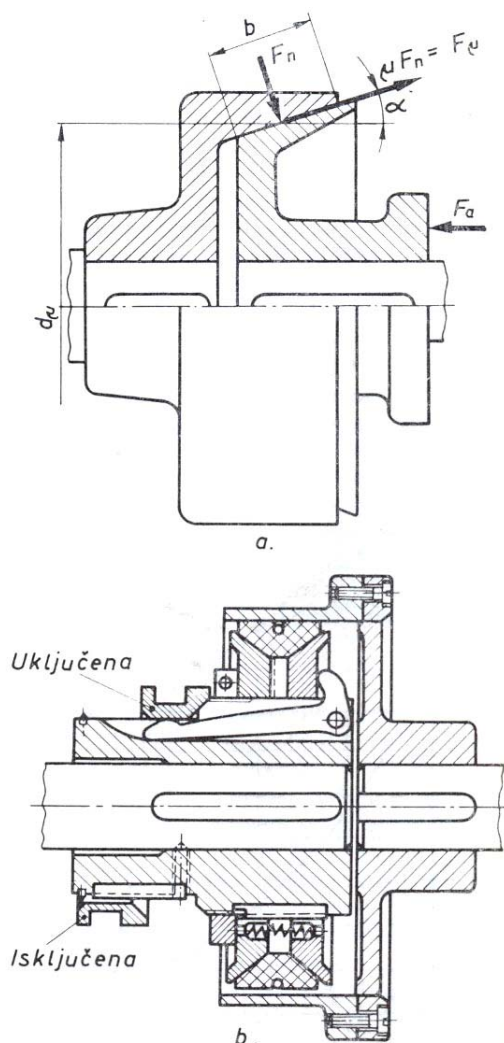
n (min<sup>-1</sup>) – br. obrta spojnice

S<sub>μ</sub>(-) – stepen sigurnosti protiv proklizavanja spojnice (1,1÷1,4)

2) **sa konusnim tarnim površinama.** Ove spojnice mogu biti sa jednom (sl. 5.80a) ili sa dva para tarnih površina (sl. 5.80b). Aksijalna sila uključivanja kod spojnice sa dva para tarnih površina je znatno manja nego kod spojnice sa jednom ravnom tarnom površinom.

Ugao  $\alpha$  (sl. 5.80a) bira se tako da se izbegne samokočenje koje bi otežalo isključivanje, tj. treba da je  $\alpha > \arctan \mu$  i zavisi od materijala tarnih obloga.

Ove spojnice su jednostavne konstrukcije, ali za pouzdan rad zahtevaju vrlo tačno centriranje oboda, i imaju vrlo malu nosivost pri relativno velikim prečnicima. Pogodne su kod razdvajanja radnog od prenosnog dela alatne mašine, kao što je to slučaj i kod spojnice sa ravnim tarnim površinama.

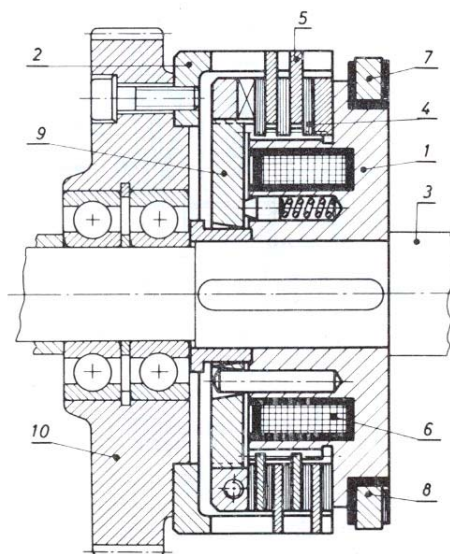


**Slika 5.80:** Frikciona spojnica sa jednom (a) i dva para koničnih tarnih površina (b)

3) **sa cilindričnim tarnim površinama.** Retko se koriste uglavnom kod transportnih mašina i dizalica. Specifičnost ove spojnice je radijalan pravac sile pritiska na tarne površine, usled čega nema aksijalne sile pri uključivanju-isključivanju.

**Elektro-magnetna** frikciona spojnica pripada grupi trajno isključenih spojnica (sl. 5.81). Odlikuje se velikom nosivošću pri relativno malim dimenzijama, brzim uključivanjem i radom bez pregrevanja čak i pri velikom broju uključivanja. Koriste se prvenstveno u prenosnicima alatnih mašina. Mogu se upotrebiti i kao kočnice.

Lamele sa unutrašnjim ozubljenjem (4) žljebno su spojene sa telom spojnice (1), koje je nepokretno na pogonskom vratilu (3). Lamele sa spoljašnjim ožlebljenjem (5) su žlebno spojene sa kućištem spojnice (2), koje je u ovom slučaju vezano za zupčanik (10). U telu (1) smešten je elektromagnet (6), koji privlači kotvu (9), a ona pritiska slog lamela (4 i 5). Grade se sa podmazivim ili suvim tarnim površinama (čelik/azbest). Dodirne površine čeličnih lamela se bruse.

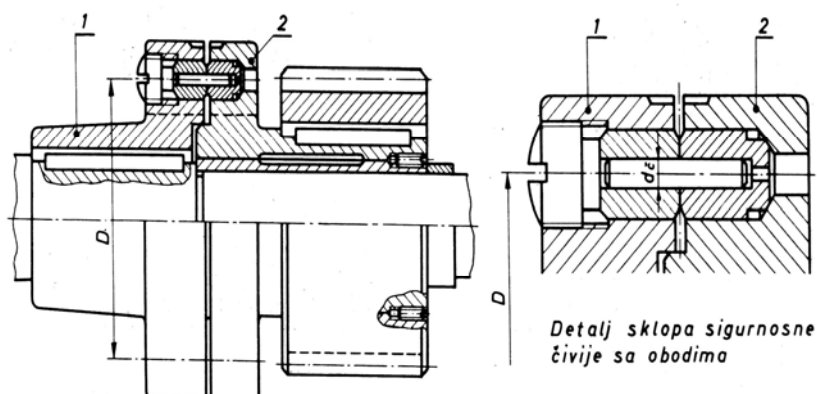


*Slika 5.81: Frikciona elektromagnetna spojnica*

**c) sa samouključivanjem-isključivanjem (automatske).** Ove spojnice omogućavaju da se pogonsko i gonjeno vratilo ili drugi obrtni elementi spajaju ili razdvajaju kada moment ili ugaona brzina dostignu odgovarajuću vrednost, ili se smer obrtanja promeni.

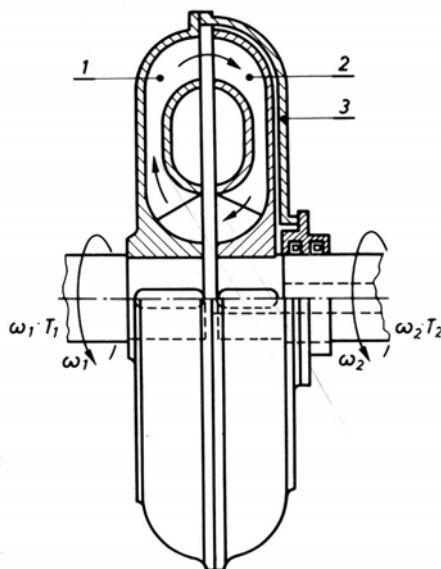
- **sigurnosna frikciona spojnica.** Kod ove spojnice pri preopterećenju dolazi do proklizavanja. Konstrukcija spojnice ista kao kod uključno-isključne frikционе spojnice samo bez mehanizma za upravljanje (opruge, pneumatike, hidraulike, elektro-magneta i sl.)

- **sigurnosna sa lomljivim čivijama** (sl. 5.82). Karakteristika ove spojnice je da usled preopterećenja dolazi do loma čivije prečnika  $d_c$ , i trenutno se prekida kinematička veza oboda (1 i 2). Spojnica je jednostavne konstrukcije i primenjuje se u mehanizmima koji su retko preopterećeni, pre svega zbog svojih nedostataka. Nedostaci su pre svega u potrebi zaustavljanja celog prenosnika radi zamene polomljenih čivija i u nesigurnosti koje će preopterećenje aktivirati čiviju.



*Slika 5.82: Sigurnosna spojnica sa lomljivom čivijom*

- **hidrodinamička spojnica (sl.5.83).** Ova spojnica omogućava dugotrajno klizanje pogonskog i gonjenog oboda bez posledica po radnu sposobnost spojnice



**Slika 5.83:** Hidrodinamička spojnica

Spojnica se sastoji iz pumpnog kola na pogonskom vratilu, zavrtnjevima spojenog sa omotačem u kojem je turbinsko kolo. Pokretanjem pumpnog kola radni fluid (najčešće ulje) struji kroz međjulopatične kanale oba kola, rad se prevodi u kinetičku energiju fluida koja se na turbinskim lopaticama opet pretvara u mehanički rad obrtanja gonjenog vratila, pri čemu je ugaona brzina gonjenog manja od ugaone brzine pogonskog.

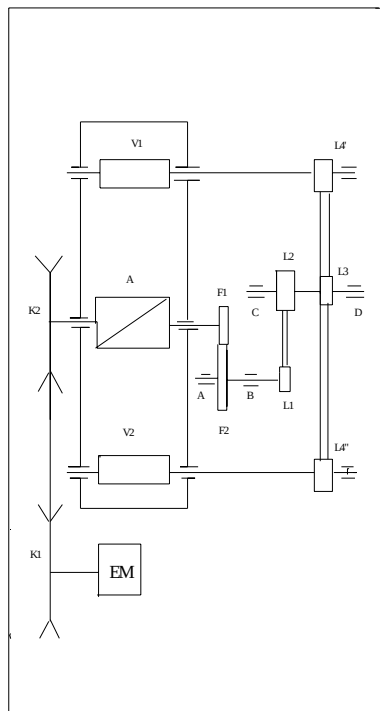
U slučaju preopterećenja opada ugaona brzina gonjenog vratila i može potpuno ukočiti turbinsko kolo, tako da se snaga na pogonskom vratilu pretvara u toplotu. Kod dugotrajnog opterećenja može postojati lako topljivi čep, tako da ulje iscuri i dodje do prekida spojenih delova.

#### 5.4 PRIMER PRENOSNIKA KOD MAŠINE ZA PRERADU DRVETA

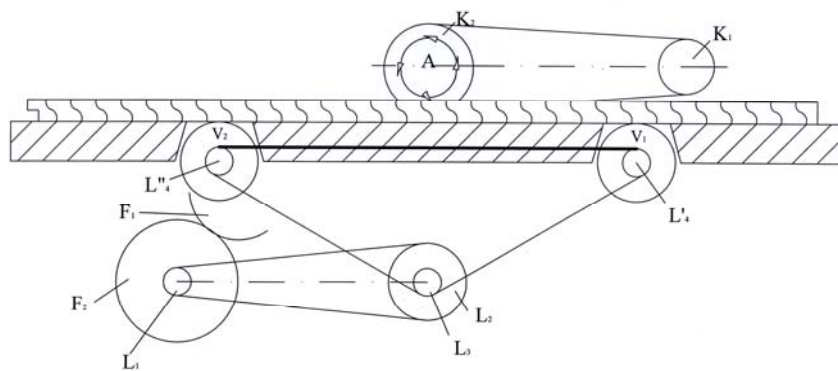
Na slici 5.84 data je kinematska šema debljače – jednostrane rendisaljke. Fina obrada na debljači se sprovodi radi dobijanja tačno određene debljine obradka. Prethodno sa donja površina obradka poravnja na ravnjači, takodje jednostranoj rendisaljci, čime se dobija merna površina (baza), u odnosu na koju gornja površina obradka koja se obrađuje na debljači treba da bude paralelna. Glavno kretanje (kretanje sa najvećom brzinom) se ostvaruje tako što se pogon sa EM prenosi na deo prenosnika za izvodjenje glavnog kretanja, kaišnike  $K_1$  i  $K_2$ , a potom i do pogonskog vratila (radnog vretena) sa alatom A. Pomoćno kretanje koje podrazumeva dovodjenje i odvodjenje obratka se ostvaruje tako što se pogon sa pogonskog vratila sa alatom A, uz pomoć frikcionog para  $F_1$  i  $F_2$ , prenosi na vratilo A-B, pa sa vratila A-B, lančanim prenosom ( $L_1$  i  $L_2$ ), na vratilo C-D, odakle se opet uz pomoć lanaca ( $L_3$ ,  $L_4'$  i  $L_4''$ ) prenosi na pogonske

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

valjke ( $V_1$  i  $V_2$ ). Šema rada data je na slici 5.85. Na slikama u Prilogu P.15 i P.16 dat je aksonometrijski prikaz dela prenosnika za glavno i pomoćno kretanje.



**Slika 5.84:** Kinematska šema debljače sa prenosnikom za izvodjenje glavnog i pomoćnog kretanja



**Slika 5.85:** Šema rada debljače

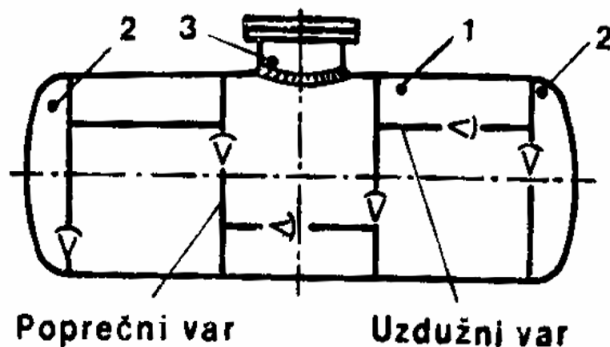
## 5.5 ELEMENTI ZA TRANSPORT FLUIDA

Često je potrebno izvršiti transport, skladištenje, pretakanje iz jednog suda u drugi ili bilo koju drugu manipulativnu operaciju sa fluidima (tečnostima i gasovima). Transportuju se najčešće: voda, nafta, benzin, ulje, gas, para, itd.; i to u sudovima za fluide i preko cevnih vodova. Regulaciju i sigurnost ovog transporta obezbeđuju cevni zatvarači i sigurnosni uredjaji. S toga smo elemente za transport fluida podelili na:

- 1) Sudove za fluide
- 2) Cevne vodove
- 3) Cevni zatvarači i sigurnosni uredjaji.

### 1) Sudovi za fluide

Mogu biti i obliku: cisterni, tankova i boca za transport ili rezervoara za skladištenje.



*Slika 5.86: Zatvoreni sud*

Obuhvataju: kotlove, izmenjivače toplote, rezervoare kompresorskih stanica, sudove pod pritiskom; i na njih dolaze: termometri, manometri, ventili sigurnosti, i sl., koji treba da obezbede ispravni rad i sigurnost.

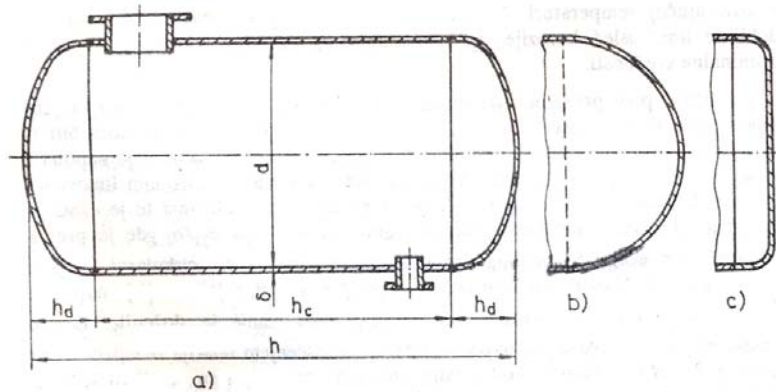
Zatvoreni sud (na sl. 5.86) sastoji se iz:

- 1) omotača
- 2) 2 danceta
- 3) revizionog otvora

Rezervoari mogu biti horizontalni ili vertikalni, više ili manje izduženi, snabdeveni različitim vrstama priključaka za uvođenje i izlaz fluida. Izradjuju se: savijanjem, rezanjem i zavarivanjem limova. Jačina zavarenih spojeva za statičko opterećenje mora biti u nivou osnovnog materijala (lima). Otvori mogu biti izvori koncentracije napona i slaba mesta. S toga se okolina otvora ojačava prstenima i dvostrukim limovima. Ovim i drugim metodama otklanjaju se slaba mesta na sudovima te je osnovni proračun čvrstoće jednostavan.

Ako razmatramo zapreminu rezervoara (slika 5.87) i koja se sastoji iz cilindričnog i dva zakrivljena dela:





**Slika 5.87:** Sud pod pritiskom (rezervoar): a) elipsoidnim dancetom, b) sferičnim dancetom, c) ravnim dancetom

$$V = V_c + 2V_d; \quad V_c = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot h_c; \quad V_d = C_d \cdot d^3$$

gde je:

$V_c$  – zapremina cilindričnog dela rezervoara,

$V_d$  – zapremina zakrivljenog dela rezervoara (danceta),

$C_d$  – koeficijent zapremine danceta odgovarajućeg oblika pomoću koga se računa zapremina danceta u funkciji prečnika;

Usvojimo sada koeficijent  $C_c$  koji predstavlja odnos visine i prečnika cilindričnog omotača  $C_c = h_c / d$ , pa za zapreminu rezervoara dobijamo:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot C_c \cdot d^3 + 2 \cdot C_d \cdot d^3$$

odnosno

$$d = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{\pi}{4} C_c + 2 C_d}}$$

Polazeći od napona u zidu cilindričnog omotača:

$$\sigma_c = \frac{p \cdot r}{\delta} \leq \sigma_{doz}$$

gde su:

$p$  (kPa) – pritisak u sudu,

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

$r = d/2$  (m) – poluprečnik suda,  
 $\delta$ (m) –debljina zida (lima);

i dozvoljenog napona:

$$\sigma_{doz} = \frac{\sigma_{Tt}}{S}$$

gde je:

$\sigma_{Tt}$  – granica tečenja na odgovarajućoj temperaturi;

S- stepen sigurnosti koji je dat u Tabeli 5.7

**Tabela 5.7:** Stepen sigurnosti za materijale koji se koriste za rezervoare (prema Ognjanović, 2008)

| $R_{p0.2}$ | Materijal                                       |       | S                                                    | S', za ispitni pritisak |
|------------|-------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------|-------------------------|
| Poznata    | Valjani i kovani čelik                          |       | 1,5                                                  | 1,1                     |
|            | Čelični liv                                     |       | 2                                                    | 1,5                     |
|            | Nodularni liv                                   | NL 60 | 5 (žaren); 6 (nežaren)                               | 2,5                     |
|            |                                                 | NL 50 | 4 (žaren); 5 (nežaren)                               | 2                       |
|            |                                                 | NL 42 | 3,5 (žaren); 4,5 (nežaren)                           | 1,7                     |
|            |                                                 | NL 38 | 3 (žaren); 4 (nežaren)                               | 1,5                     |
|            | Al i njegove legure                             |       | 1,5                                                  | 1                       |
| Nepoznata  | Sivi liv                                        |       | 9 — nežaren; 7 — žaren ili emajliran                 | 3,5                     |
|            | Bakar i njegove legure, valjana i livena bronza |       | 3,5 — bešavne i varene posude<br>4 — lemljene posude | 2,5                     |

potrebna debljina lima za izradu suda je:

$$\delta \geq \frac{p \cdot r}{\sigma_{doz}} + \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2 \quad (1)$$

gde su:

$\Delta\delta_1$ - dodatak zbog gubitka debljine lima usled korozije

$\Delta\delta_1$ - dodatak zbog odstupanja debljine lima od nominalne vrednosti.

U zidovima tanca naponsko stanje je složenije. Dance predstavlja ljusku u kojoj se naponi određuju korišćenjem relacija iz teorije elastičnosti. Osim kod ravnog, kod ostalih oblika tanca naponi su manji ili jednaki onima u omotaču, tako da je merodavan proračun kao za omotač, odnosno usvojena debljina lima prema (1). Takođe, u novije vreme sve se više umesto čeličnog lima primenjuju sudovi od kompozitnih materijala.

**- Materijal za izradu sudova**

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Treba izabrati materijal dobre čvrstoće koji se dobro vari i to: ugljenični čelik garantovanog sastava sa 0,2% ugljenika (grupa čelika oznake Č.120\*, gde je \* br. od 2÷7) ili legirani čelici Č.7130 i Č.7430.

### 2) Cevni vodovi

U zavisnosti od fluida koga transportuju cevni vodovi mogu biti: vodovod, gasovod, naftovod, parovod, i sl., a koriste se i za transport mešavine fluida i čvrste materije (npr. vazduha i drvnog otpatka ili vazduha i praškastih materijala). Osim ove osnovne namene cevi se mogu koristiti i kao osnovni konstrukcijski element u mašinskim konstrukcijama.

Unutrašnji prečnik cevi zavisi od potrebnog protoka i brzine strujanja i iznosi:

$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v}}$$

gde su:  $\dot{V}$  -zapreminski protok,  $v$ - brzina strujanja.

Prva veća standardizovana vrednost ovog unutrašnjeg prečnika predstavlja ***nazivni prečnik*** (D). Standardne vrednosti za nazivne prečnike date su u Tabeli 5.8.

**Tabela 5.8:** Standardne veličine nazivnih prečnika u (mm), (prema Ognjanović, 2008)

|                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1; 1,2; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12 <sup>+</sup> ; 15; 16 <sup>+</sup> ; 20; 25; 32; 40; 50;                                                                                                                                                             |
| 150; (175); 200; 250; 300; 350; 400; (450); 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400; 2600; 2800; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000.                                                                                       |
| — Vrednosti u zagradama po mogućnosti izbegavati.<br>+ Ove vrednosti koriste se za cevne spojke, priključke i druge spojeve sa navojem. Za prečnike iznad 1 000 mm mogu se koristiti i međuvrednosti čije se veličine razlikuju od navedenih za po 100 mm. |

***Nazivni pritisak*** ( $p_n$ ) je najveći pritisak kojem delovi cevnog voda smeju biti izloženi u radu pri temperaturi od 20°C. Standardne vrednosti date su u Tabeli 5.9.

**Tabela 5.9:** Standardne veličine nazivnog pritiska u (bar), (prema Ognjanović, 2008)

|                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| (0,5); 1; 1,6; 2,5; 4; 6; (8); 10; (12,5); 16; (20); 25; (32); 40; (50); 64; (80); 100; |
| (125); 160; (200); 250; 320; 400; (500); 640; (800); 1 000; 1 600; 2 500; 4 000; 6 400. |
| — Veličine u zagradama po mogućnosti izbegavati.                                        |

***Dozvoljeni radni pritisak*** ( $p$ ) je najveći pritisak kojem neki deo cevnog voda za određeni nazivni pritisak sme biti izložen u radu pri radnoj temperaturi.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

**Ispitni pritisak** ( $p_{is}$ ) je pritisak kome se izlaže cevovod radi provere čvrstoće njegovih pojedinih delova i zaptivanja spojeva na normalnoj temperaturi. Za manje značajne vodove obično se usvaja vrednost 1,5 od nazivnog pritiska.

Za određivanje potrebne debljine zida cevi koristi se obrazac:

$$\delta \geq \frac{p \cdot r}{\sigma_{doz}} + \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2$$

gde su:

$p$  – dozvoljeni radni pritisak

$D$  – nazivni prečnik cevi

$\Delta\delta_1$  – dodatak zbog gubitka debljine lima usled korozije

$\Delta\delta_2$  – dodatak zbog odstupanja debljine lima od nominalne vrednosti.

$\sigma_{doz} = \frac{\sigma_{Tt}}{S}$  – dozvoljeni napon, pri čemu je  $\sigma_{Tt}$  – granica tečenja na odgovarajućoj

temperaturi;  $S$  – stepen sigurnosti

### - Materijal za izradu cevi

Cevi mogu biti od:

1) **sivog liva** – obično SL.15, sa izlivenim obodima za pritiske do 16 bara.

- koriste se kod vodova u zemlji i to za : vodu, otpadnu vodu, plinsku mrežu, itd.
- otporne su na koroziju

2) **čeličnog liva** - pri čemu zatezna čvrstoća treba da je veća od  $450\text{N/mm}^2$ , a koriste se uglavnom za pritiske manje od 40bara.

3) **čelične** – koje mogu biti:

- a) sa šavom – za pritiske do 40bara,
- b) bez šava – za pritiske do 100bara.

Šavne cevi izrađuju se savijanjem lima i zavarivanjem na mestu spoja. Sam spoj (šav) je najslabije mesto na cevi. Šav može biti paralelan osi vratila ili zavojan, što sa gledišta čvrstoće i tehnologije izrade dugačkih cevi, pogodnije. Šavne cevi su po pravilu velikih gabarita, dužine i prečnika, i primenjuju se za cevovode velikog protoka i relativno niskog pritiska. Neke dimenzije šavnih cevi date su u Tabeli 5.10.

Bešavne cevi izrađuju se specijalnim postupcima valjanja u toplom stanju. Po obimu su ove cevi bez šavova, manjeg su prečnika, i namenjene su za više pritiske. Neke dimenzije bešavnih cevi date su u Tabeli 5.11.

4) **bakra** – uglavnom za prečnike do 80mm

- postoje su prema koroziji
- koriste se za: toplotne instalacije, u prehrambenoj i hemijskoj industriji

5) **olovne** – koriste se u hemijskoj industriji radi otpornosti na kiseline i agresivnu sredinu

- ranije su se koristile kod vodovodnih instalacija

6) **keramike** – uglavnom se koriste za kanalizaciju, otpadne vode u hemijskoj industriji i sl.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

7) **plastične mase** – u poslednje vreme sve veću primenu za različite radne uslove, a uglavnom za vodovodne instalacije gde bi pravi naziv bio termoplastične pošto se spajaju zagrevanjem na mestu spoja. Takodje, cevi od PVC-a sve više se koriste za pneumatski transport drvnog otpatka u pogonima prerade drveta.

**Tabela 5.10:** Šavne čelične cevi (prema Savić i dr., 1987)

| D<br>mm                                                                                                                               | Navoj   | δ<br>mm | Masa<br>kg/m | Posebne<br>debljine,<br>δ, mm | D<br>mm | Navoj | δ<br>mm | Masa<br>kg/m | Posebne<br>debljine,<br>δ, mm |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------|-------------------------------|---------|-------|---------|--------------|-------------------------------|
| 10,2                                                                                                                                  | R 1/8   | 1,6     | 0,344        | 1,4...2                       | 141,3   |       | 3,6     | 12,3         | 2...8                         |
| 13,5                                                                                                                                  | R 1/4   | 1,8     | 0,522        | 1,4...2                       | 152,4   |       | 4       | 14,7         | 2...8                         |
| 16                                                                                                                                    |         | 1,8     | 0,632        | 1,4...2                       | 159     |       | 4       | 15,4         | 2...8                         |
| 17,2                                                                                                                                  | R 3/8   | 1,8     | 0,608        | 1,4...2,9                     | 165,1   | R 6   | 4       | 16           | 2,9...8                       |
| 20                                                                                                                                    |         | 2       | 0,890        | 1,4...2,9                     | 168,3   |       | 4       | 16,3         | 2,9...8                       |
| 21,3                                                                                                                                  | R 1/2   | 2       | 0,962        | 1,4...4,5                     | 177,8   |       | 4,5     | 19,2         | 2,9...8                       |
| 25                                                                                                                                    |         | 2       | 1,13         | 1,4...4,5                     | 193,7   |       | 4,5     | 20,9         | 2,9...8,8                     |
| 26,9                                                                                                                                  | R 3/4   | 2       | 1,24         | 1,4...5                       | 219,1   |       | 4,5     | 23,7         | 3,2...12,5                    |
| 30                                                                                                                                    |         | 2       | 1,39         | 1,4...5                       | 244,5   |       | 5       | 29,5         | 3,2...12,5                    |
| 31,8                                                                                                                                  |         | 2       | 1,48         | 1,4...5                       | 267     |       | 5       | 32,3         | 3,2...12,5                    |
| 33,7                                                                                                                                  | R 1     | 2       | 1,58         | 1,4...5                       | 273     |       | 5       | 33           | 3,2...12,5                    |
| 38                                                                                                                                    |         | 2       | 1,79         | 1,4...5                       | 323,9   |       | 5,6     | 43,8         | 3,2...12,5                    |
| 42,4                                                                                                                                  | R 1 1/4 | 2       | 2,01         | 1,4...5                       | 355,6   |       | 5,6     | 48,2         | 3,2...12,5                    |
| 44,5                                                                                                                                  |         | 2       | 2,11         | 1,4...5                       | 368     |       | 5,6     | 49,9         | 3,2...12,5                    |
| 48,3                                                                                                                                  | R 1 1/2 | 2,3     | 2,63         | 1,4...5                       | 406,4   |       | 6,3     | 62,4         | 3,2...12,5                    |
| 51                                                                                                                                    |         | 2,3     | 2,78         | 1,4...5                       | 419     |       | 6,3     | 64,3         | 3,6...12,5                    |
| 57                                                                                                                                    |         | 2,3     | 3,13         | 1,4...5                       | 457,2   |       | 6,3     | 70,3         | 3,6...12,5                    |
| 60,3                                                                                                                                  | R 2     | 2,3     | 3,31         | 1,4...5                       | 508     |       | 6,3     | 78,2         | 3,6...12,5                    |
| 63,5                                                                                                                                  |         | 2,3     | 3,5          | 1,4...5                       | 558,8   |       | 6,3     | 86,1         | 4,5...20                      |
| 70                                                                                                                                    |         | 2,6     | 4,35         | 1,4...5                       | 609,6   |       | 6,3     | 94,1         | 4,5...20                      |
| 73                                                                                                                                    |         | 2,6     | 4,55         | 1,4...5                       | 660,4   |       | 7,1     | 115          | 4,5...20                      |
| 76,1                                                                                                                                  | R 2 1/2 | 2,6     | 4,75         | 1,4...5                       | 711,2   |       | 7,1     | 124          | 4,5...20                      |
| 82,5                                                                                                                                  |         | 2,6     | 5,16         | 1,4...5                       | 762     |       | 8       | 148          | 4,5...20                      |
| 88,9                                                                                                                                  | R 3     | 2,9     | 6,20         | 1,4...5                       | 812,8   |       | 8       | 158          | 4,5...20                      |
| 101,6                                                                                                                                 |         | 2,9     | 7,11         | 2...6,3                       | 863,6   |       | 8,8     | 185          | 4,5...20                      |
| 108                                                                                                                                   |         | 2,9     | 7,57         | 2...6,3                       | 914,4   |       | 10      | 223          | 4,5...20                      |
| 114,3                                                                                                                                 | R 4     | 3,2     | 8,83         | 2...7,1                       | 1016    |       | 10      | 248          | 4,5...20                      |
| 127                                                                                                                                   |         | 3,2     | 9,84         | 2...7,1                       | 1120    |       | 11      | 301          | 5,6...20                      |
| 133                                                                                                                                   |         | 3,6     | 11,6         | 2...7,1                       | 1220    |       | 12,5    | 372          | 6,3...20                      |
| 139,7                                                                                                                                 | R 5     | 3,6     | 12,2         | 2...7,1                       | 1320    |       | 12,5    | 403          | 7,1...20                      |
|                                                                                                                                       |         |         |              |                               | 1420    |       | 14,2    | 492          | 7,1...20                      |
|                                                                                                                                       |         |         |              |                               | 1520    |       | 14,2    | 527          | 8...20                        |
|                                                                                                                                       |         |         |              |                               | 1620    |       | 16      | 633          | 8...20                        |
| Posebne debljine, δ, mm 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,6; 2,9; 3,2; 3,6; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3; 7,1; 8; 8,8; 10; 11; 12,5; 14,2; 16; 17,5; 20 |         |         |              |                               |         |       |         |              |                               |
| Obeležavanje: Cev Dxδ                                                                                                                 |         |         |              |                               |         |       |         |              |                               |

**Tabela 5.11:** Bešavne čelične cevi (prema Savić i dr., 1987)

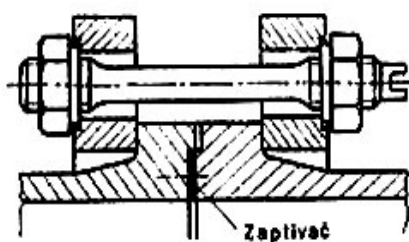
| Nd,<br>mm    | 50               | 65               | 80               | 100                | 125  | 150                | 200   | 250  | 300   | 350                  | 400                  | 500              |
|--------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|------|--------------------|-------|------|-------|----------------------|----------------------|------------------|
| D<br>mm      | 60,3             | 76,1             | 88,9             | 108...<br>...114,3 | 133  | 159...<br>...168,3 | 219,1 | 273  | 323,9 | 355,6...<br>...(368) | 406,4...<br>...(419) | 508...<br>...521 |
| δ<br>mm      | 2,9...<br>...3,6 | 2,9...<br>...3,6 | 3,2...<br>...3,6 | 3,6                | 4    | 4,5                | 5,9   | 6,3  | 7,1   | 8                    | 8,8...<br>...10      | 11...<br>...11,5 |
| Masa<br>kg/m | 4,1...<br>...5,1 | 5,3...<br>...6,5 | 6,8...<br>...7,6 | 9,3...<br>...9,9   | 12,8 | 17,1...<br>...18,1 | 31    | 41,6 | 55,6  | 68,3...<br>...70,8   | 85,9...<br>...101    | 135...<br>...144 |

### - Spajanje i zaptivanje

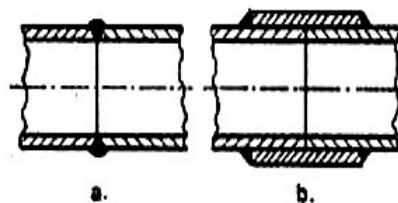
Spajanje može biti:

- 1) zavrtnjevima duž oboda cevi (prirubnicom) – sl. 5.88
- 2) zavarivanjem – sučeono ili preklopno – sl. 5.89. Cevi od liva i keramike se ne zavaruju, dok se cevi od plastičnih masa spajaju blagim pritiskom na prethodno zagrejanom mestu spoja.
- 3) navojem – za pritiske do 16bar i manje prečnike do 32mm – sl. 5.90

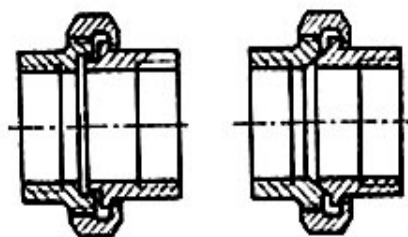
Zaptivanje se vrši umetanjem elemenata u spoj – prstenova ili diskova od: bakra, bronz, olova, sivog liva, čelika, azbesta, klingerita ili gume.



*Slika 5.88: Spajanje cevi putem prirubnice*



*Slika 5.89: Spajanje cevi zavarivanjem: a) sučeono b) na preklop*



*Slika 5.90: Spajanje cevi putem navoja*

### 3) Cevni zatvarači i sigurnosni uredjaji

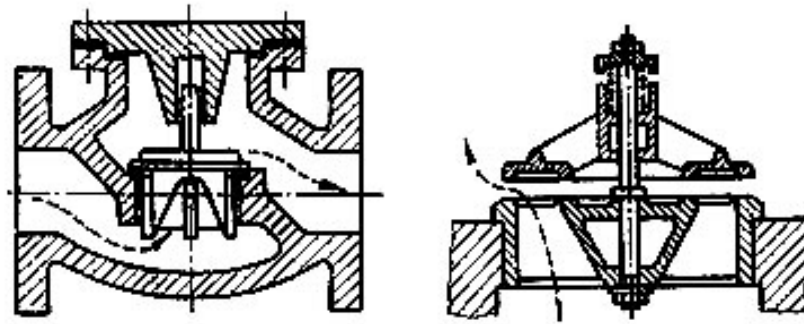
Uloga cevni zatvarača je dvojaka:

- a) omogućavaju ili zatvaraju proticanje fluida kroz instalaciju,
- b) regulišu protok i brzinu strujanja.

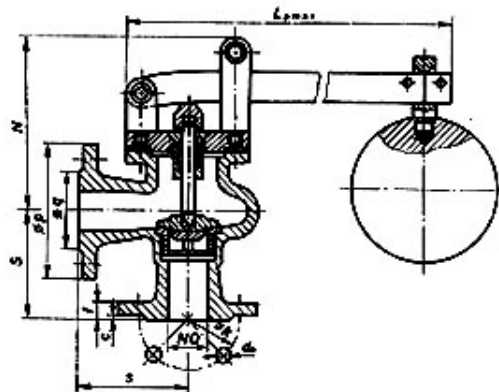
Koja će od ovih uloga biti ostvarena zavisi od tehnološkog procesa ili zbog potreba u intervencijama u održavanju pojedinih delova sistema. Zatvaranje ili otvaranje može biti često ili povremeno, može se ostvariti brzo ili sporo, ručno ili automatski. Prečnici cevi u koje se ugrađuju cevni zatvarači mogu biti manji ili veći, a za različite potrebe razvijeno je više vrsta cevni zatvarača. Mogu se podeliti uglavnom na: ventile, zasune i slavine.

1) **Ventili** (sl. 5.91 i sl. 5.92) . Princip dejstva im se sastoji u zatvaranju otvora kroz koji teče fluid sa zapornom pločom (sl. 5.91). Pomeranje ove ploče obično se ostvaruje

navojnim parom. Ceo sklop je smešten u kućicu koja sa cevima može da se spaja pomoću prirubnica ili navoja, ako su cevi manjeg prečnika. Ovi ventili široko su zastupljeni u primeni, a njihovi oblici dimenzije su standardizovani. Mogu biti i sigurnosni kada obezbeđuju da radni pritisak u instalaciji ne predje dozvoljenu vrednost, kao što je sigurnosni ventil sa tegom (sl. 5.92).



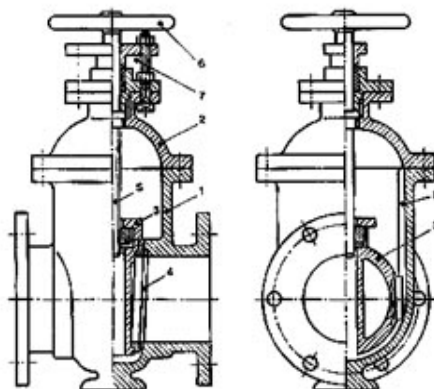
*Slika 5.91: Nepovratni ventil*



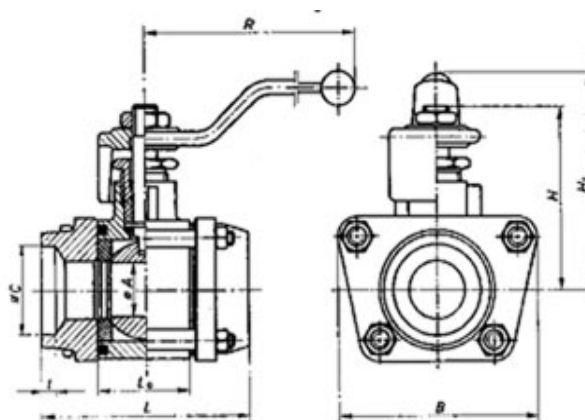
*Slika 5.92: Ventil sa tegom*

2) **Zasuni** (sl. 5.93). Omogućavaju zatvaranje protoka postepenim pomeranjem zaptivnog tela. Pružaju manji otpor proticanju fluida, jer nema naglih skretanja kao kod ventila. Koriste se kod velikih prečnika cevi, sa velikim protocima i pritiscima

3) **Slavine** (sl. 5.94). Služe za naglo otvaranje i zatvaranje protoka, kao i za regulaciju protoka kod cevi manjih prečnika. Zaptivno telo je u vidu konusa ili lopte (sl. 5.94), sa poprečnim otvorom. Ako se pravac otvora poklopi sa pravcem, strujanje je neometano. Naglo zatvaranje vrši se okretanjem zaptivnog tela za  $90^\circ$ .



*Slika 5.93: Zasuni standardnog oblika*



*Slika 5.94: Loptasta slavina*



## 6. MEHANIZMI ZA PRENOS OBRTNOG U PRAVOLINIJSKO KRETANJE

Kod mašina za preradu drveta često su prisutni mehanizmi za prenos obrtnog kretanja u pravolinijsko. Ovo obrtno kretanje obično predstavlja: okretanje zamajca elektro-motora koje je potrebno pretvoriti u pravolinijsko kretanje klizača u ležaju, podizanje ili spuštanje radnog stola sa obratkom, pravolinijsko kretanje radnog vretena i sl. Transformacija jednog kretanja u drugo, omogućena je pomoću sledećih mehanizama:

### 1) Klipni mehanizam (mehanizam krivaje) – sl. 6.1.

Dobio naziv po tome što predstavlja spoj radilice (vrši obrtno kretanje – krivaja), klipnjače i klipa u cilindru motora. U preradi drveta koristi se uglavnom kod prostijih mašina: jednostrane rendisaljke, makaza za sečenje furnira i sl.

Nedostaci:

- neravnomernost brzine pravolinijskog kretanja, a time i neekonomičnost iskorišćenja mašine,
- jednakost radne i povratne brzine koja treba da je veća.

Kinematska šema krivajnog mehanizma data je na slici 6.1.

Iz trougla OAB korišćenjem sinusne teoreme se dobija odnos između uglova  $\theta$  i  $\psi$  kao:

$$\frac{\sin \psi}{R} = \frac{\sin \theta}{L} \quad (1)$$
$$\sin \psi = \lambda \cdot \sin \theta,$$

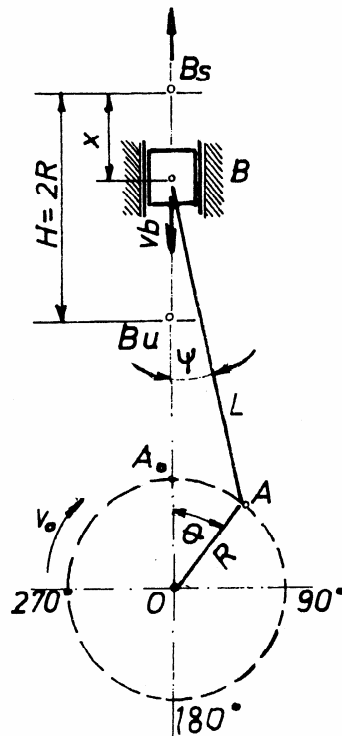
gde je:  $\lambda = \frac{R}{L}$  tj. odnos između poluprečnika krivaje i dužine kretne poluge (kretače).

Put gaterskog rama (klizač B) biće (sl. 6.1):

$$x = s = R + L - R \cdot \cos \theta - L \cdot \cos \psi, \quad (2)$$

a prema poznatoj trigonometrijskoj identičnosti i izrazu (1) je:

$$\cos \psi = \sqrt{1 - \sin^2 \psi} = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \theta}. \quad (3)$$



Slika 6.1: Klipni mehanizam

Kako je kod gatera  $\lambda = \frac{R}{L} \approx \frac{1}{10}$ , to izraz (3) postaje  $\cos \psi \approx 1$ , pa je izraz (2) za brzinu gaterskog rama sada dobija oblik:

$$x = R \cdot (1 - \cos \theta). \quad (4)$$

Brzina rama odredila bi se diferenciranjem po vremenu izraza (4):

$$v = \frac{dx}{dt} = R \cdot \sin \theta \cdot \frac{d\theta}{dt}. \quad (5)$$

Kako je  $\frac{d\theta}{dt} = \omega$  ugaona brzina krivaje biće:

$$v_B = R \cdot \omega \cdot \sin \theta = v_0 \cdot \sin \theta.$$

S obzirom da je  $v_0 = \text{const.}$  Brzina gaterskog rama u toku jednog obrtaja krivaje menja se po harmonijskoj zavisnosti sinusoide.

Srednja brzina rama, a time ujedno i srednja brzina rezanja biće:

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

$$v_{sr} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot dt = \frac{R \cdot \omega \cdot \int_0^\pi \sin \theta \cdot d\theta}{\pi} = \frac{R \cdot n}{15} = \frac{H \cdot n}{30}.$$

Kod gatera je obično  $v_{sr} = (3,5 \div 8,0) \text{ m/s}$ .

Obimna brzina krivaje u zavisnosti od srednje brzine je:

$$v_0 = R \cdot \omega = R \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R \cdot n}{15} = \frac{\pi}{2} \cdot v_{sr}.$$

Kako je trenutna brzina gaterskog rama promenljiva od  $v_{B \text{ MAX}}$  do 0, javlja se i ubrzanje gaterskog rama diferenciranjem izraza za brzinu (5):

$$a_B = \frac{dv_B}{dt} = R\omega \cdot \cos \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} = R\omega^2 \cdot \cos \theta = v_0 \omega \cdot \cos \theta = \frac{v_0^2}{R} \cdot \cos \theta,$$

jer je:  $\omega = \frac{v_0}{R}$

Sa ubrzanjem gaterskog rama javlja se inercijalna sila  $F_{in} = ma = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_0^2}{R} \cos \theta$

gde je:

$m$  – masa svih delova koji se kreću pravolinijski oscilatorno (gaterski ram i približno 1/3 kretače).

Zamenom vrednosti  $v_0 = R\omega$  i  $R=H/2$ , dobija se izraz za približno sračunavanje inercijalne sile:

$$F_{in} = \frac{GHn^2}{1800} \cdot \cos \theta$$

Kako su veličine  $G$ ,  $H$ , i  $n$  konstantne za sve vreme rada gatera, a član  $\cos \theta$  promenljiv od 1 do -1, inercijalna sila je maksimalna u donjem, odnosno gornjem položaju gaterskog rama. Inercijalna sila u gornjem položaju gaterskog rama isteže kretaču, a u donjem položaju rama opterećuje kretaču na savijanje i izvijanje.

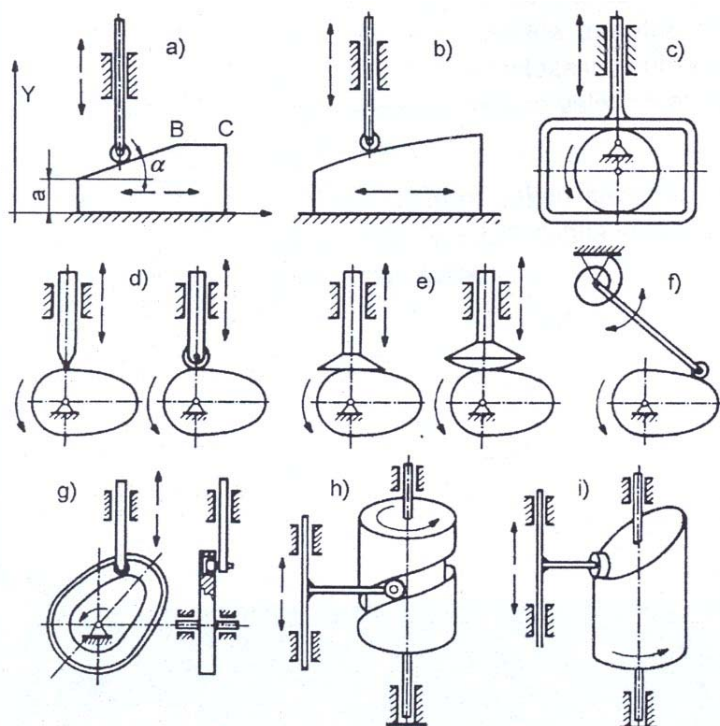
Da bi se inercijalna sila umanjila na zamajce se ugrađuju protivtegovi čije mase stvaraju inercijalnu silu suprotnog smera i tako umanjuju inercijalnu silu od pravolinijskog oscilatornog kretanja.

### **2) Bregasti mehanizam – sl. 6.2.**

Osnovni članovi bregastog mehanizma su breg i podizač. Breg se izvodi u obliku bregaste ploče, sl. 6.2 a-g, ili u obliku bregastog tela, sl. 6.2 h,i. Breg može vršiti translatorno sl. 6.2 a,b i obrtno kretanje sl. 6.2 c-i. Podizač se izvodi u obliku poluge koja

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

uglavnom vrši translatorno kretanje (sl. 6.2 a-e, g-i), ali može i obrtno (sl. 6.2 f). Podizači mogu imati zaobljen vrh, točkić ili valjčić. Točkić i valjčić se postavlja da bi se trenje klizanja zamenilo trenjem kotrljanja. Kada su ugaone brzine veće podizač se završava diskom, koji može biti ravan ili sferičan (sl. 6.2 e).



**Slika 6.2.** Različiti oblici bregastih mehanizama

Breg je vodeći – pogonski deo, a podizač vodjeni – gonjeni član bregastog mehanizma. Tačan oblik brega diktira zakon kretanja podizača koji se na njega naslanja i vrši pravolinijsko kretanje. Dakle, ako je poznat oblik brega može se odrediti zakon kretanja podizača i obratno, ako je poznat zakon kretanja podizača može se odrediti oblik brega.

Može više bregova biti izradjeno na jednoj osovini na identičan način. Ovaj primer je često prisutan u preradi drveta kod podizanja radnog stola, kao pomoćnog kretanja na alatnim mašinama (debljača, rendisaljka i sl.). Slika ovakve osovine koja podiže i spušta sto kod ravnalice kombinovane mašine data je u Prilogu, slika P.12. Kod SUS motora bregovi na osovini su uglovno pomereni, tako da vrše sinhronizovano otvaranje i zatvaranje usisnih i izduvnih ventila koji se nalaze cilindrima bloka motora.

Prednosti bregastih mehanizama su sledeće:

- Omogućava ostvarenje velikog broja različitih zakona kretanja vodjenom članu izborom odgovarajućeg oblika i zakona kretanja brega
- Imaju jednostavnu konstrukciju, kompaktni su i nisu komplikovani za izradu.

Glavni nedostaci bili bi: pojava velikog trenja i habanja, a usled toga i promena geometrijskog oblika brega, što za posledicu ima i pojavu grešaka u prenosu posle duže upotrebe.

## A. Dedić: Osnovi mašinstva II

Postoje više zakona kretanja podizača. Najčešće primenjivani u praksi su: ravnomerni, parabolni, harmonijski, cikloidni, polinomijalni i dr. Ovde će biti reči samo o ravnomernom i parabolničnom zakonu kretanja.

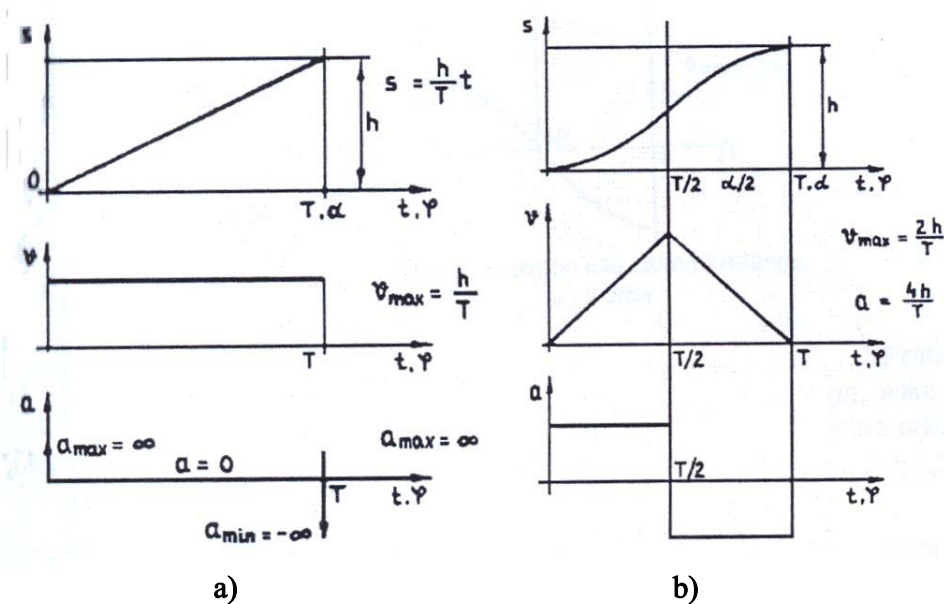
*Ravnomerni* zakon kretanja (sl. 6.3a) podizača ima oblik  $s = C \cdot t$ . Za  $f=a$  i  $s=h$ , biće  $s=h/a \cdot f$ . Za konstantnu ugaonu brzinu brega brzina i ubrzanje podizača ima oblik:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{h}{\alpha} \cdot \omega \quad \text{i} \quad a = \frac{d^2s}{dt^2} = 0$$

Sa dijagrama se vidi da na granica intervala kretanja podizača, pri  $t=C$  i  $t=T$ , nastaje trenutna promena brzine od nule do maksimalne vrednosti. U tim položajima ubrzanje podizača postaje beskonačno zbog čega dolazi do pojave velikih inercijalnih sila i jakih udara, koji su nepovoljni po mehanizam.

*Parabolni* zakon kretanja (sl. 6.3b) ima oblik  $s = C \cdot t^2$ . Za  $s = h/2$  i  $f=a/2$  dobija se  $s=2 \cdot h \cdot (f/a)^2$ . Tada brzina i ubrzanja podizača imaju oblik:

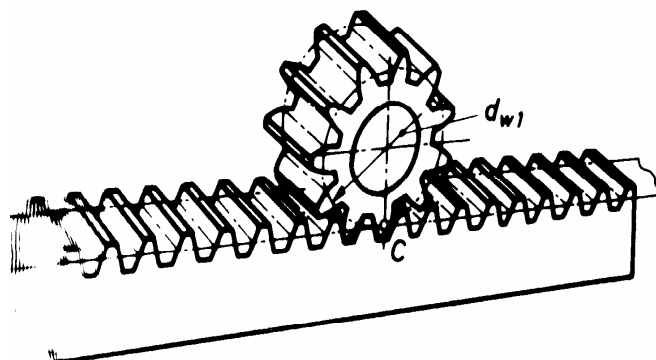
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{4h\omega}{\alpha^2} \cdot \varphi \quad \text{i} \quad a = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{4h\omega^2}{\alpha^2} = \text{const.}$$



**Slika 6.3:** Zakon kretanja podizača a)ravnomerni, b)parabolni

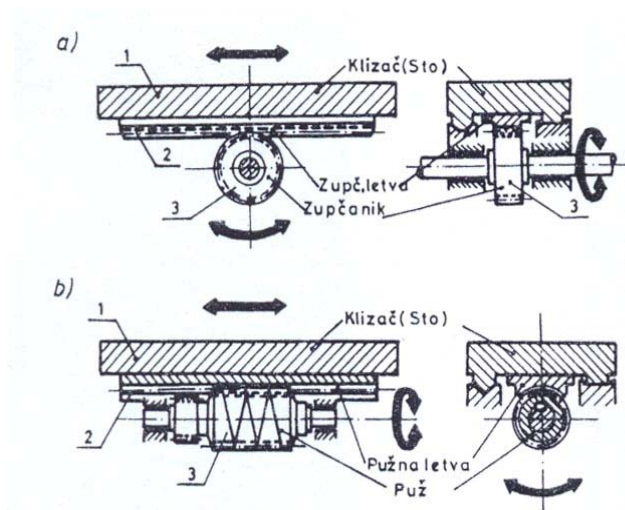
### 3) Zupčanik-zupčasta letva – sl. 6.4.

Ukoliko je zupčasta letva fiksirana, zupčanik vrši obrtno i pravolinijsko kretanje sprežući se sa njom; a ukoliko je vratilo zupčanika fiksirano onda zupčanik vrši samo obrtno kretanje, a letva pravolinijsko. Prvi slučaj je prisutan u preradi drveta kod horizontalnog krojača ploča sa portalom; dok je drugi kod gatera za primicanje i odmicanje valjaka za pomoćno kretanje, a prema prečniku trupca (sl. P.14 u Prilogu) ili kod sistema za upravljanje kod automobila.



*Slika 6.4: Zupčanik-zupčasta letva*

Pomoću mehanizma zupčanik-zupčasta letva vrši se i pomeranje radnog stola alatnih mašina za obradu drveta i metala, u cilju izvođenja pomoćnog pravolinijskog kretanja obratka koji se nalazi na njemu (sl. 6.5a). Zupčasta letva 2, vezana za klizač stola 1 sa pravolinijskim kretanjem, spregnuta je sa cilindričnim zupčanicom 3, a ovaj zupčanik se nalazi na predajnom vratilu prenosnika. Umesto cilindričnog zupčanika u nekim slučajevima se ugrađuje puž, a umesto obične zupčaste poluge, pužna zupčasta poluga (sl. 6.5b). Kod ovih prenosnika brzina radnog kretanja nezavisna od brzine povratnog hoda.

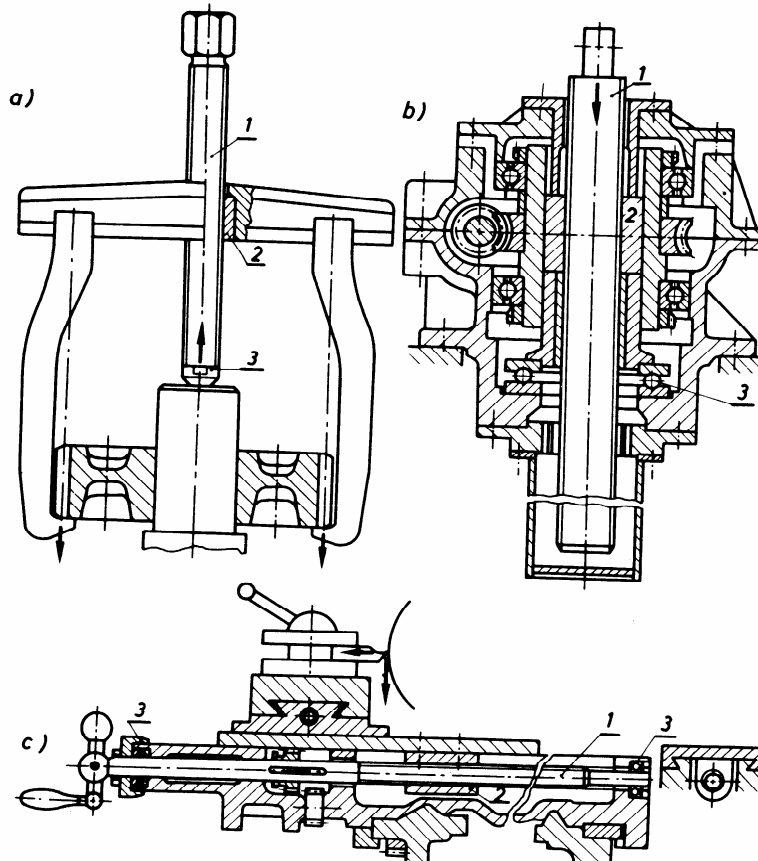


*Slika 6.5: a) Zupčasti prenosnik; b) Pužni prenosnik*

#### 4) Navojno vreteno – traverza – sl. 6.6.

Kod ovog mehanizma u pogledu kinematike takodje postoje dve varijante. U prvoj varijanti se navojno vreteno obrće i izvodi pravolinijsko kretanje po traverzi. Ovakva kinematika može biti prisutna kod podizanja stola kod ravnalice za preradu drveta, ručne ili motorne dizalice (slika 6.6b) i sl. Druga varijanta kinematike

podrazumeva samo obrtno kretanje navojnog vretena koje je fiksirano u ležajevima, dok traverza vrši pravolinijsko kretanje. Primeri za ovu vrstu kinematike bili bi: kretanje pritiskivača kod mehaničke prese, nosača noža kod struga (slika 6.6c) ili radnog dela ručnog svlakača za razdvajanje presovanih spojeva (slika 6.6a, gde je prikazano skidanje zupčanika sa vratila).



**Slika 6.6:** Navojno vreteno – traverza: a) ručni svlakač; b) dizalica sa navojnim vretenom na motorni pogon; c) pokretni navojni spoj nosača strugarskih noževa

U Prilogu na slici P.6 dat je mehanizam navojno vreteno-traverza za podizanje i spuštanje gornjeg vodjenog diska tračne pile.

## 7. LITERATURA

1. **Drapić S., Nikolić S.:** Osnove mašinstva, za II razred usmerenog obrazovanja tekstilne struke i III razred elektro-tehničke struke, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1988.
2. **Djordjević V.:** Mašinski materijali, I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
3. **Ercegović Dj.:** Mašinski elementi, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 1994.
4. **Ercegović Dj., Raičević D.:** Mehanizmi poljoprivrednih mašina, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 2003.
5. **Jelaska D.:** Elementi strojeva, Sveučilište u Splitu, 2005.
6. **Kalajdžić M.:** Tehnologija mašinogradnje I, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
7. **Kršljak B.:** Mašine i alati za obradu drveta, II knjiga, Uljarice-public, Beograd, 2002.
8. **Kršljak B.:** Mašine i alati za obradu drveta, III knjiga, Uljarice-public, Beograd, 2002.
9. **Kuzmanović S.:** Mašinski elementi I, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2005.
10. **Niemann G., Winter H.:** Maschinenelemente, II i III, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
11. **Nikolić V.:** Mašinski elementi, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
12. **Majstorović A., Jovanović M.:** Osnovi zavarivanja, lemljenja i lepljenja, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
13. **Lubardić S.:** Zavisnost otpora drveta *Populus serotina* i *Populus robusta* na izvlačenje eksera i vijaka od nekih faktora, magistarski rad, Šumarski fakultet, Beograd, 1974.
14. **Ognjanović M., Plavšić N., Janković M.:** Teorija mašinskih elemenata, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
15. **Ognjanović M.:** Mašinski elementi, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
16. **Potrebić M.:** Drvne konstrukcije I, Šumarski fakultet, Beograd, 1984.
17. **Popović M.:** Uticaj nekih fizičkih i mehaničkih svojstava OSB i konvencionalne ploče iverice na ivično držanje vijaka, Šumarski fakultet, Beograd, 2007.
18. **Savić Z. i dr.:** Inženjersko-mašinski priručnik – knjiga 2: “Elementi mašinskih konstrukcija”, glavni redaktor Z. Savić, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1987.
19. **Savić Z.:** Mašinski elementi, Čvrstoća zupčanika i dr., Mašinski fakultet, Beograd, 1974.
20. **Sedmak S.:** Elementi mašina i aparata, Tehnološki fakultet, Beograd, 1998.
21. **Standardi:** SRPS, SRPS EN i ISO.
22. **Stanković P.:** Mašine alatke, Narodna knjiga, Beograd, 1948.
23. **Soltis L.:** Wood Handbook – Wood As Engineering Material, part 7: Fastetings, Forest Product Laboratory, Madison, WI, USA, 1999.
24. **Veriga S.:** Mašinski elementi III, Mašinski fakultet, Beograd, 1985.
25. **Vitas D., Trbojević M.:** Mašinski elementi, III, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
26. **Šelmić R.:** Elementi transportnih sredstava i uredjaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2005.

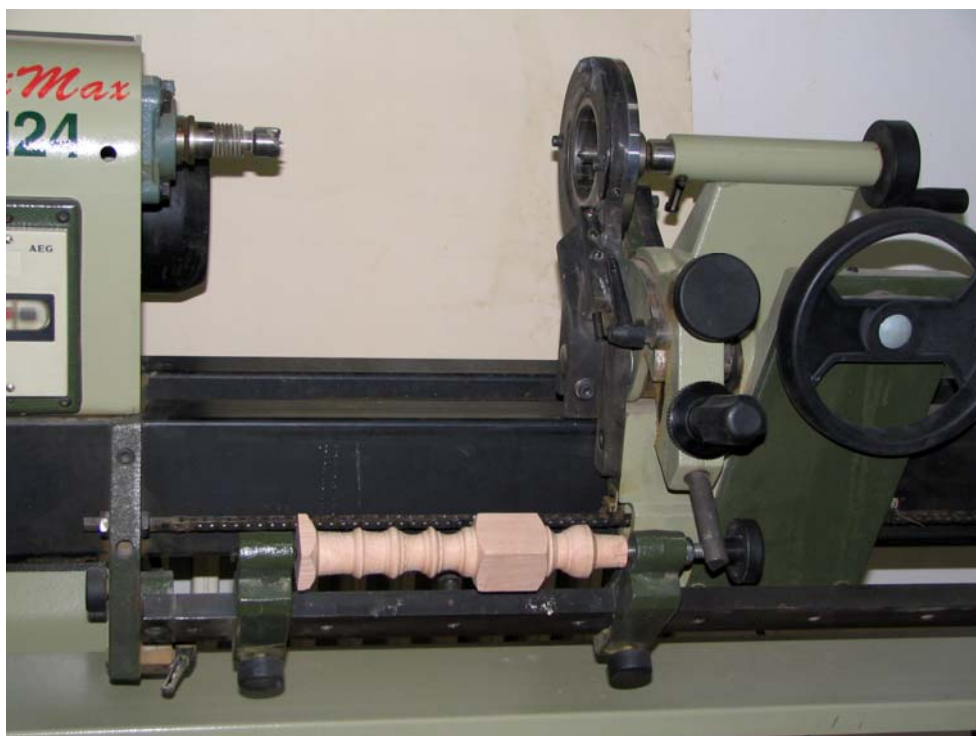


## **PREDGOVOR POGLAVLJA 8**

*U ovom poglavlju date su fotografije nekih mašinskih elemenata koji se nalaze u mašinama za preradu drveta, Laboratorije za mašine i alate, Šumarskog fakulteta u Beogradu.*

*U poglavljima gde su fotografisani mašinski elementi detaljno obradjeni dato je i pozivanje sa fotografijom u Prilogu tako da čitalac posle sagledavanja tehničkog crteža i upoznavanja sa radom određenog mašinskog elementa, stiče predstavu o njegovom stvarnom izgledu i ulozi u alatnoj mašini za preradu drveta.*

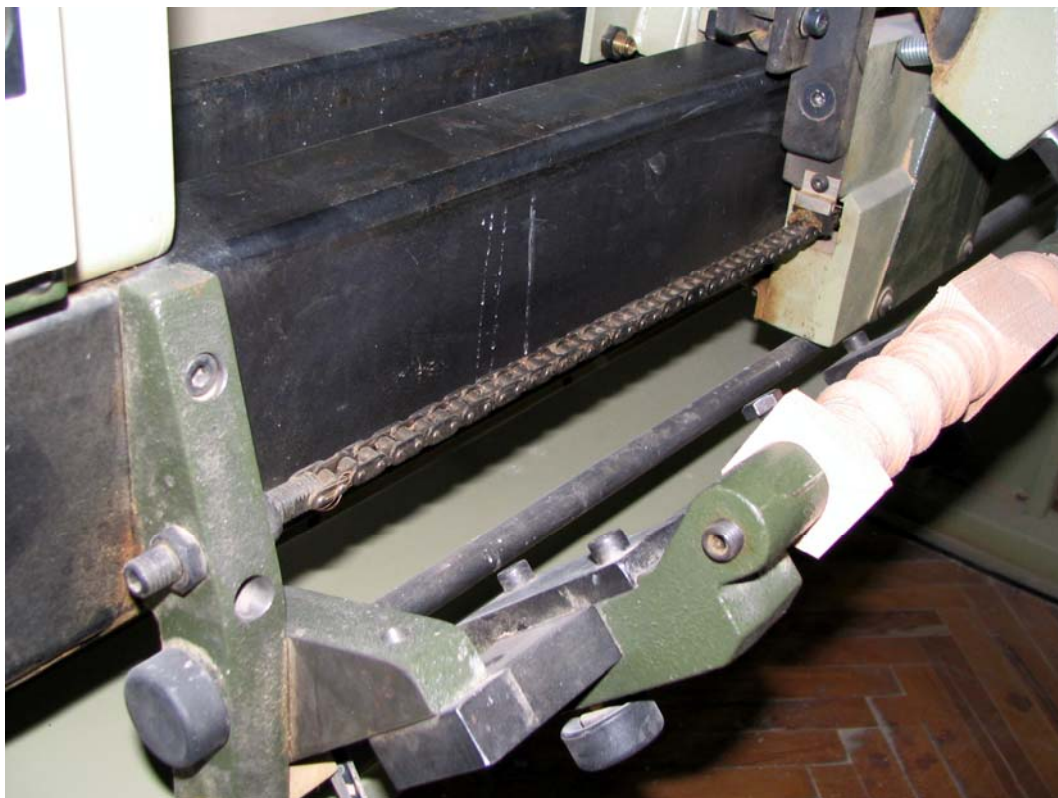
## 8. PRILOZI



**Slika P.1:** Strug za tokarenje sa steznom glavom koja obavlja glavno kretanje, nosačem zadnjeg šiljka, mehanizmima za obavljanje pomoćnog kretanja, izratkom (modelom) koji služi za kopiranje (Laboratorija za mašine i alate, Šumarskog fakulteta u Beogradu)



**Slika P.2:** Stepenasti kaišni prenosnik sa polužnim mehanizmom za stupnjevitu promenu broja obrta glavnog kretanja kod struga za tokarenje



**Slika P.3:** Lanac za izvodjenje pomoćnog kretanja nosača alata struga za tokarenje

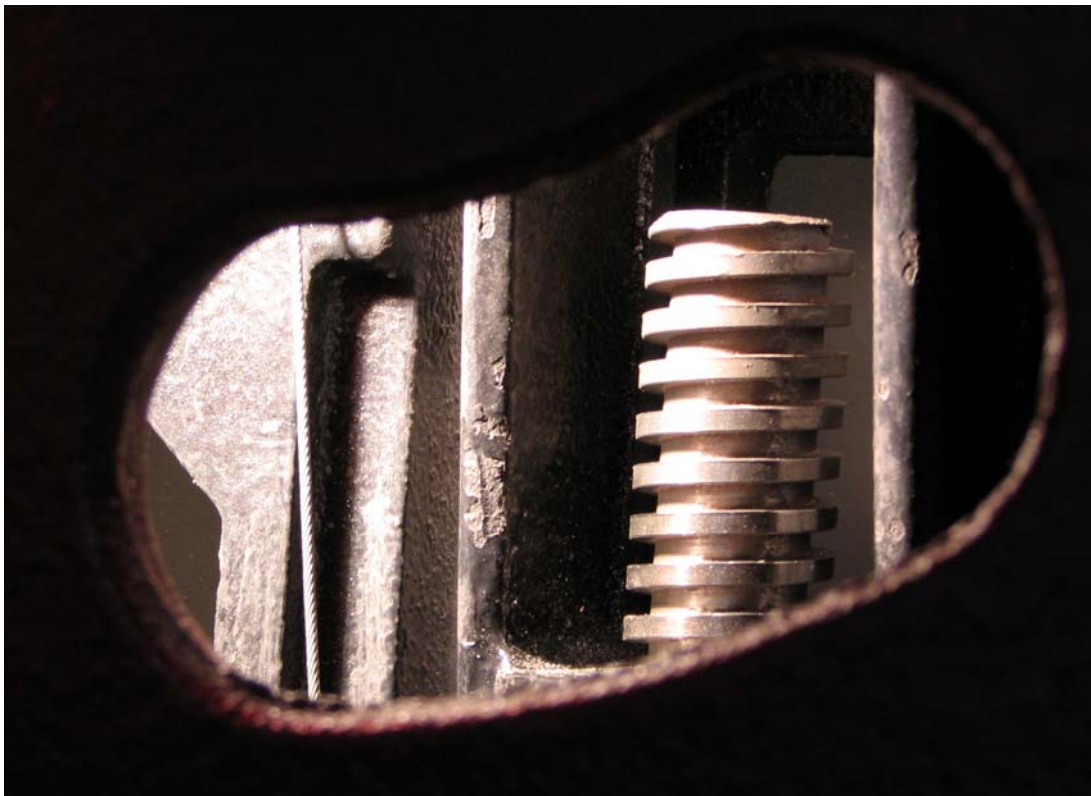


**Slika P.4:** Lanac sa pogonom elektro-motora za podizanje stola kod tračne brusilice





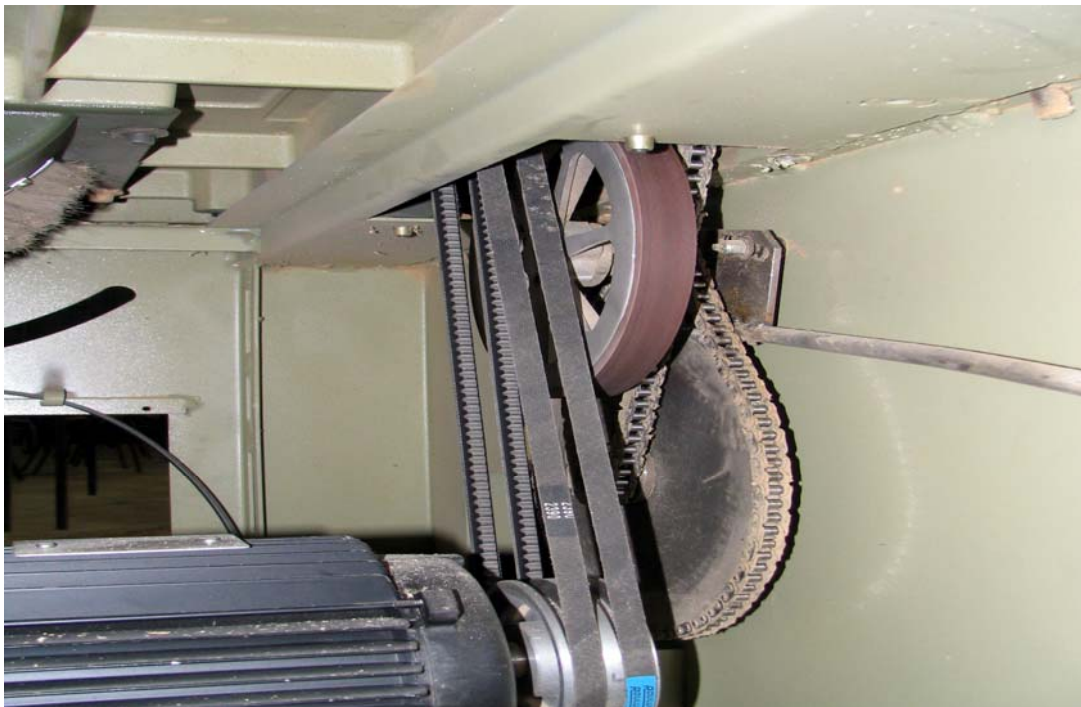
**Slika P.5:** Tračna pila sa gornjim vodjenim diskom (Laboratorija za mašine i alate, Šumarskog fakulteta u Beogradu)



**Slika P.6:** Mehanizam navojno vreteno-traverza za podizanje i spuštanje gornjeg vodjenog diska tračne pile

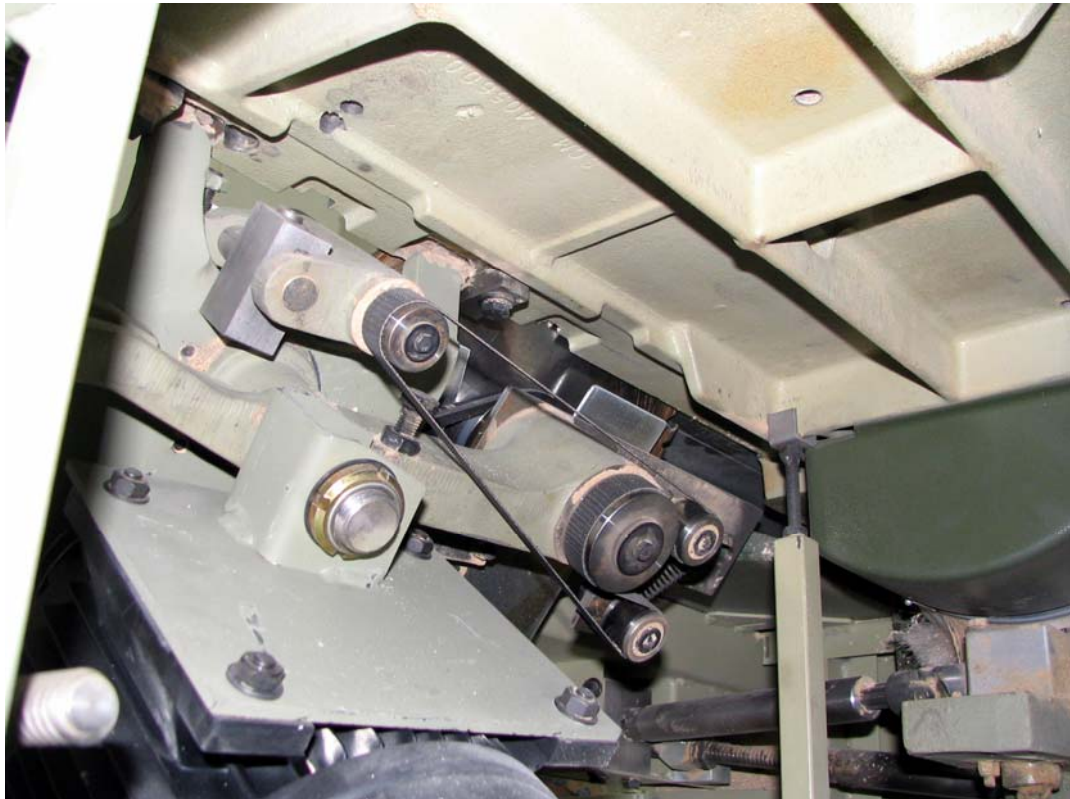


**Slika P.7:** Kombinovana mašina koja se služi za: ravnanje, glodanje i piljenje  
(Laboratorija za mašine i alate, Šumarskog fakulteta u Beogradu)



**Slika P.8:** Prenos snage sa pogonskog elektromotora preko dvostrukog zupčastog kaiša na vertikalno radno vreteno glodala kombinovane mašine





**Slika P.9:** Zupčasti kaiš prebačen preko više vretena radi postizanja tačnog prenosnog odnosa kod kružne pile kombinovane mašine



**Slika P.10:** Kardanska vratila kod kombinovane mašine (dole stepenasti kaišnik)

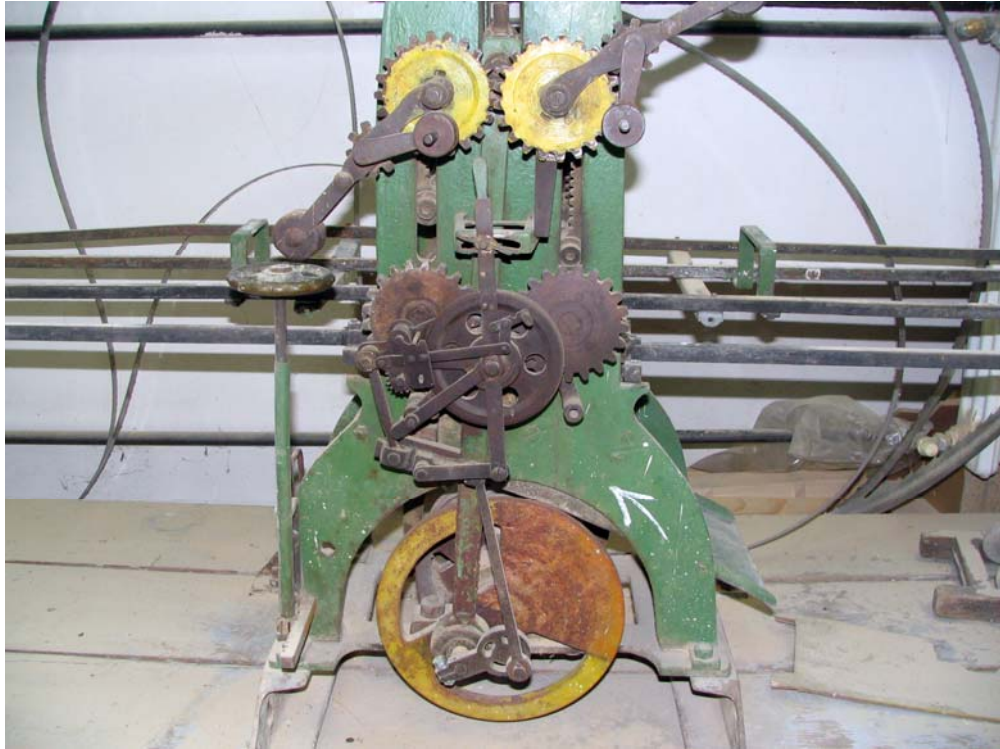


**Slika P.11:** Segmentna vodjica za zaokretanje stola kod vertikalnog vretena za glodalo kod kombinovane mašine



**Slika P.12:** Bregasta osovina koja podiže i spušta sto kod kombinovane mašine



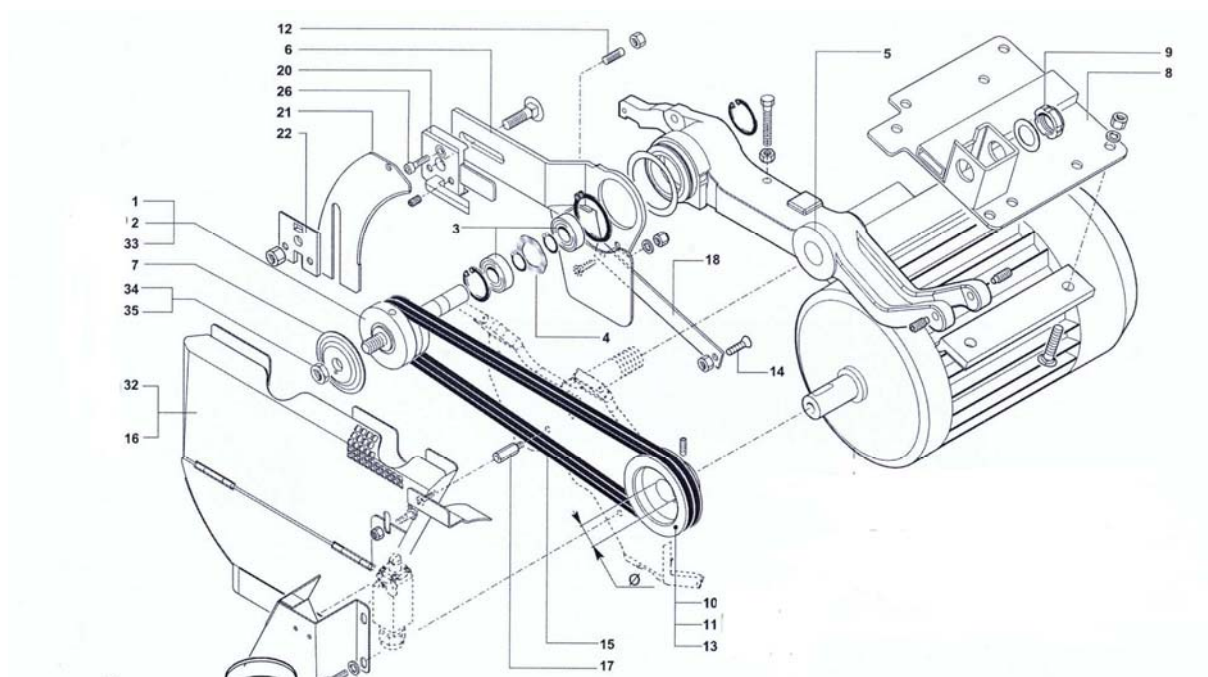


**Slika P.13:** Mehanizam sa sistemom zupčanika za izvodjenje glavnog kretanja gaterskog rama (maketa gatera u Laboratoriji za mašine i alate, Šumarskog fakulteta u Beogradu)

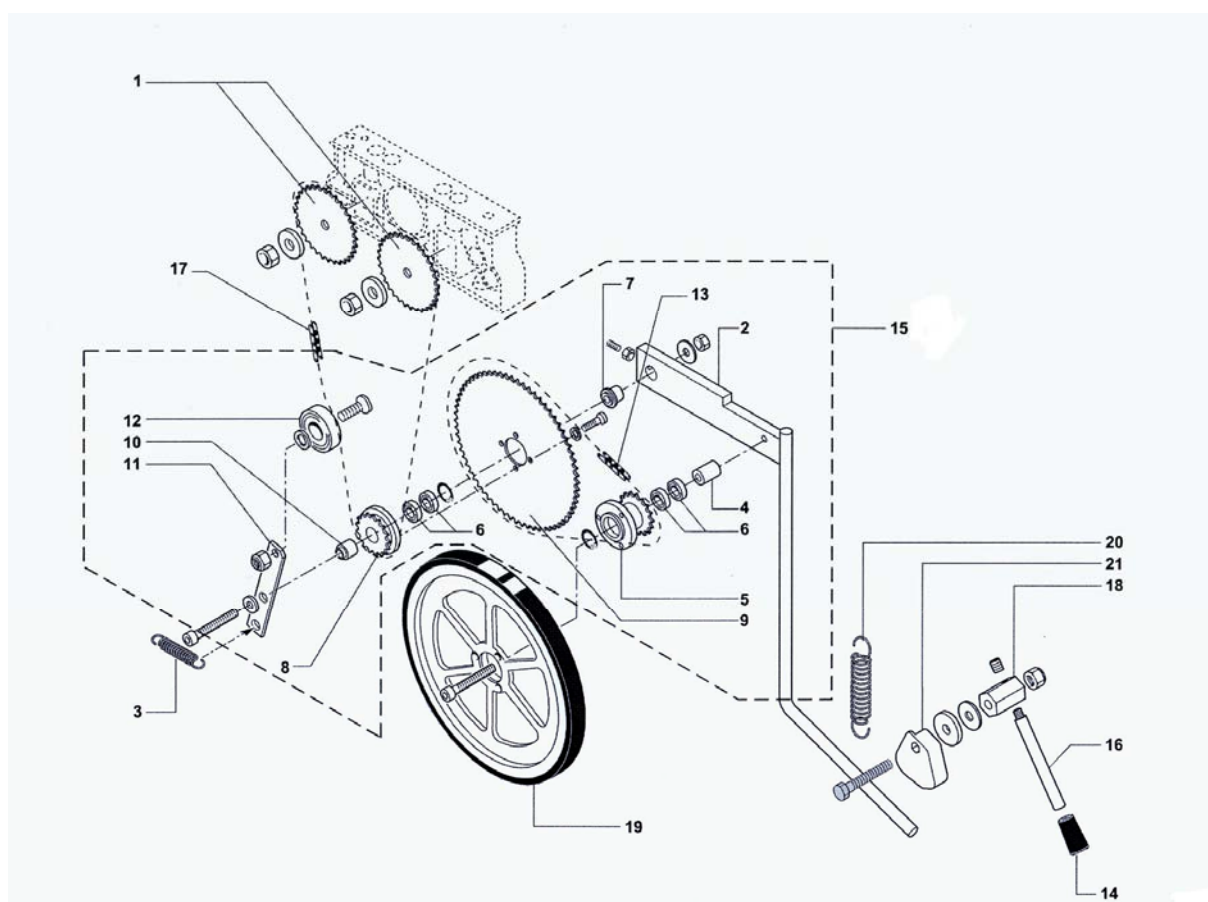


**Slika P.14:** Mehanizam zupčanik-zupčasta letva za primicanje i odmicanje valjaka za pomoćno kretanje, a prema prečniku trupca





**Slika P.15:** Aksonometrijski prikaz kaišnog prenosa pogonske snage sa elektro-motora debljače na radno vreteno



**Slika P.16:** Aksonometrijski prikaz frikcionog (19) i lančanog prenosa (9 i 1-8) prenosa snage sa radnog vretena debljače na valjke za izvodjenje pomoćnog kretanja