

1

Uvod u predmet

Ključni pojmovi

stroj
pogonski stroj
radni stroj
sklop
element stroja
dio stroja
dinamička čvrstoća
norma
normirani broj
tolerancija
slobodna mjera
vanjska mjera
unutarnja mjera
nazivna mjera
gornja granična mjera
donja granična mjera
gornje odstupanje
donje odstupanje
stvarna mjera
stvarno odstupanje
dosjed
tolerancijsko polje
tolerancija oblika
tolerancija položaja

Čiljevi

Razlikovati pogonske i radne strojeve.
Razlikovati element i dio stroja.
Nabrojiti elemente strojeva prema funkciji.
Nabrojiti zahtjeve na dijelove strojeva.
Nabrojiti utjecaje na izbor materijala.
Razlikovati vrste opterećenja prema vremenu.
Razlikovati dinamičku od statičke čvrstoće.
Objasniti svrhu normizacije.
Objasniti svrhu normnih brojeva.
Usvojiti neophodnost tolerancije za strojni dio.
Razlikovati tolerancije prema svrsi.
Uočiti odstupanja slobodnih mjera.
Razlikovati dosjede prema nastanku i namjeni.
Izabrati tolerancije dosjeda provrta i osovine.
Označiti tolerancije dosjeda.
Razlikovati tolerancije oblika i položaja.

Uvod

Strojarstvo je područje tehnike, čiji je cilj svrsishodno iskorištavanje prirodnih dobara uporabom strojeva. Stroj je skup funkcionalno oblikovanih dijelova koji u svrhu proizvodnje, prijenosa ili pretvaranja energije obavlja koristan rad. Strojevi mogu obavljati mehanički rad gibanjem dijelova uz savladavanje otpora. Strojevi koji ne obavljaju mehanički rad su instalacije, metalne konstrukcije i dr.

Strojevi se dijele na:

- pogonske strojeve i
- radne strojeve.

Pogonski strojevi pretvaraju različite vrste energije (mehanička energija vode, toplinska energija plina ili pare, kinetička energija plina, električna energija, nuklearna energija) u mehaničku energiju za obavljanje mehaničkog rada sa što manje gubitaka (motori s unutarnjim izgaranjem, parni stapni strojevi, toplinske turbine, hidraulički motori, pneumatski motori, elektromotori, reaktivni motori i dr.).

Radni strojevi obavljaju koristan mehanički rad uporabom mehaničke energije pogonskog stroja ili pretvaraju mehaničku energiju pogonskog stroja u drugu vrstu energije (alatni strojevi, dizala, transporteri, ventilatori, pumpe, kompresori, elektrogeneratori, itd.).

Skupina strojeva povezana u funkcionalnu cjelinu za obavljanje korisnoga rada naziva se postrojenje.

Da bi stroj nastao, treba ga tehnički definirati, projektirati, konstruirati i proračunati, izraditi tehničku dokumentaciju, propisati tehnologiju izrade i sastavljanja, dijelove izraditi i sastaviti u cjelinu, ispitati ga i konačno pustiti u pogon. U korištenju je potrebna pravilna uporaba i redovito održavanje.

Osnovni pojmovi

Stroj (slika 1-1) predstavlja skup određenog broja strojnih dijelova skladno sastavljenih u funkcionalnu cjelinu, pri čemu svaki dio obavlja točno određenu zadaću. Neki strojni dijelovi se koriste u jednakom obliku za iste funkcije u različitim strojevima i ti strojni dijelovi se nazivaju elementi strojeva. Više strojnih dijelova i elemenata čini podsklop, odnosno sklop stroja.

Sklop stroja je skup više strojnih dijelova povezanih u jednu cjelinu, a obavljaju zadanu funkciju u stroju, primjerice motor automobila (slika 1-2).

Strojni dio je elementarni dio stroja koji obavlja točnu određenu zadaću zajedno s drugim elementima strojeva, kao npr. klin, vijak, opruga, vratilo, zupčanik, i dr. (slika 1-3). Strojni dio stoga nije moguće dalje rastaviti.

Elementi strojeva opće namjene su normirani strojni elementi koji se upotrebljavaju pri gradnji različitih strojeva (vijci, klinovi, opruge, ležajevi, itd.)

Elementi strojeva posebne namjene su dijelovi strojeva u gradnji pojedinih vrsta strojeva (poput elemenata alatnih strojeva, elemenata pneumatskih strojeva, elemenata motornih vozila i dr.).

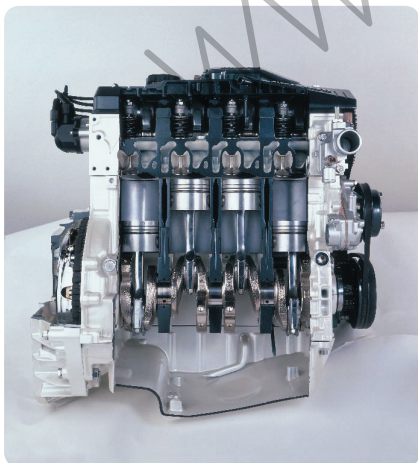
Slika 1-1

Stroj



Slika 1-2

Sklop stroja



Slika 1-3

Strojni dijelovi



Prema funkciji elemente strojeva dijelimo na:

1. Elemente za spajanje:

- elementi za nerastavno spajanje - zavareni spojevi, lemljeni spojevi, zakovani, lijepljeni, spojevi pregibanjem,
- elementi za rastavno spajanje - zatici, vijci i veze glavine;

2. Nosive i oslone elemente strojeva:

- osovine i vratila,
- ležaji;

3. Elemente i uređaje za podmazivanje i brtvenje;

4. Elemente za prijenos snage:

- prijenosnici snage i momenta na istoj osi - spojke,
- prijenosnici snage i okretnog momenta - zupčani, pužni, planetarni i harmonijski prijenos, lančani, remeni prijenos i prijenos zupčastim remenom, užetni i tarni prijenos,
- prijenosnici snage pretvaranjem rotacije u translaciju - navojno vreteno i stepni mehanizam;

6. Elemente za protok i regulaciju - cijevi, ventili, zasuni, pipci i zaklopke;

7. Finomehaničke elemente - klinovi, graničnici.

U elementima strojeva se proučavaju dijelovi strojeva prema njihovoj funkciji i uporabi, obliku i dimenzijama te izboru i proračunu. Znanja elementa strojeva neophodna su pri oblikovanju i projektriranju dijelova, sklopova i strojeva, kao i pri njihovom održavanju i servisiranju, a za njihovo proučavanje potrebna su znanja iz temeljnih teorijskih disciplina:

- **tehničke mehanike**, koja proučava ravnotežu u mirovanju i gibanju;
- **mehanike materijala**, odnosno znanosti o čvrstoći, koja omogućava dimenzioniranje elemenata, određivanje čvrstoće i opterećenja te deformacija i krutosti dijelova strojeva, sklopa ili stroja;
- **tehničkih materijala** zbog pravilnog izbora s obzirom na čvrstoću, težinu, mogućnost obrade i ekonomičnost, a na temelju njihovih mehaničkih karakteristika, načina proizvodnje, mogućnosti prerade, fizičke i toplinske obrade i ispitivanja;
- **tehnologije obrade i sastavljanja**, koja proučava postupke obrade materijala i sastavljanje s ciljem kvalitetne i ekonomične izrade dijelova;
- **tehničkog crtanja**, koje omogućava jednoznačno izražavanje pri predočavanju dijela, sklopa ili stroja i izmjenu informacija, uvažavajući pravila i norme od nacionalnih do međunarodnih;
- **projektiranja, oblikovanja i crtanja pomoću računala**, što daje mogućnost optimiranja i učinkovitosti pri projektiranju i oblikovanju.

Oblik i dimenzije strojnih dijelova

Pri oblikovanju i dimenzioniranju dijelovi strojeva trebaju odgovarati zahtjevima, a najvažniji su:

- funkcionalnosti i namjene,

- radne sposobnosti,
- proizvodnosti,
- ekonomičnosti.

Funkcionalnost određuje oblike i dimenzije dijelova strojeva i različita je za svaki stroj i za svaki njegov dio, a bez funkcionalnosti drugi zahtjevi gube na značaju. Oblik strojnih dijelova ovisi o načinu gibanja (kružno gibanje – cilindrični oblik; pravocrtno gibanje – ravne površine; pretvorba pravocrtnog gibanja u kružno – vijčani oblik itd.), dok su dimenzije vezane za pripadajuća opterećenja. Dijelovi strojeva trebaju imati takve dimenzije koje će im omogućiti pravilnu i sigurnu funkciju.

Radna sposobnost zahtijeva dovoljno veliku čvrstoću i krutost, podnošenje radnih opterećenja i drugih utjecaja, bez trajnih deformacija ili loma. Nisu dopuštene pukotine, pretjerano trošenje dodirnih površina, prekomjerne vibracije, zagrijavanje, itd.

Zahtjevi proizvodnje, izrade i sastavljanja utječu na oblike strojnih dijelova i odnose se na detalje (obrada skidanjem strugotine, lijevana izvedba, zavarana izvedba i dr.).

Zahtjevi ekonomičnosti se nameću zbog konkurencije, a to su jeftina izrada i eksploatacija stroja. Oblici strojnih dijelova moraju biti jednostavni, a povećani troškovi proizvodnje moraju biti opravdani boljim svojstvima, duljim vijekom trajanja, većim stupnjem pouzdanosti, itd. Na sniženje troškova proizvodnje utječe normizacija uporabom normiranih elemenata i postupaka.

Izbor materijala strojnog dijela

Na izbor materijala strojnog dijela utječe zahtijevana funkcionalnost i pouzdanost rada u sklopu ili stroju, a sam izbor ovisi o:

- mehaničkim svojstvima materijala kao što su statička i dinamička čvrstoća, tvrdoća, žilavost, otpornost na trošenje i koroziju, specifična gustoća i dr.;
- broju proizvoda koji je potrebno izraditi. Pri pojedinačnoj proizvodnji prednost se daje pouzdanosti i funkcionalnosti strojnog dijela. Pri velikoserijskoj proizvodnji zahtjevi moraju biti optimalno riješeni.

Izabrani materijal utječe na postupak i ekonomičnost izrade pa treba imati dobra tehnološka svojstva: livnost, zavarljivost, kovnost, obradivost skidanjem strugotine, toplinsku obradivost i dr.

Vrlo važnu ulogu u tom procesu ima primjena normiranih poluproizvoda, iz kojih je moguće brzo i ekonomično, određenim postupcima, izraditi dijelove strojeva konačnog oblika. Takvi poluproizvodi su, primjerice vučene ili valjane grede različitih presjeka, razni odljevci, itd.

Za izradu strojnih dijelova najčešće se upotrebljava čelik (konstrukcijski, ugljični i legirani), čelični lijev, sivi lijev, legirani obojeni metali i legirani laki metali, a ponekad i polimerni materijali, keramika, drvo, tekstil, itd. Najčešće upotrebljavani materijal je čelik, koji zadovoljava potrebe volumenske i površinske čvrstoće, temperaturne postojanosti, žilavosti, itd. Na

svojstva čelika se utječe različitim postupcima izrade i obrade, dodatkom legirnih elemenata i s odgovarajućom kemijskom i toplinskom obradom.

Opterećenje, dinamička čvrstoća i dopušteno naprezanje

Mehanička opterećenja strojnih dijelova koja su posljedica nazivne snage i brzine vrtnje nazivaju se nazivna opterećenja. Radno opterećenje može biti stalno (konstantno) ili promjenjivo nazivno opterećenje u vremenu (intermitirajuće) kod vozila, dizala i dr. Radna opterećenja su sile i momenti sila. U njima su sadržana ili sudjeluju:

- *korisna opterećenja* - otpori koje treba svladati da se dobije koristan rad, a mogu biti sila, $F = P/v$, ili okretni moment, $M_T = P/\omega$;

- *opterećenja trenja* - sile koje usporavaju gibanje dodirnih površina:

$$F_T = \mu \cdot F_N;$$

- *težine dijelova* treba uzeti u obzir ako su značajne veličine u odnosu na korisno opterećenje:

$$F_G = m \cdot g;$$

- *inerzijske sile i momenti* koji nastaju promjenom veličine i smjera brzine pri pokretanju i usporavanju mase, a pri čemu im je smjer suprotan od smjera ubrzanja $F_i = -m \cdot a$, $M_i = -J \cdot \alpha$, te centrifugalna sila pri kružnom gibanju neuravnoteženih masa ili pri prijelazu pravocrtnog u kružno:

$$F_c = m \cdot r \cdot \omega^2;$$

- *pritisak tekućina i plinova* koji je u zatvorenim posudama jednak u svim smjerovima, $F_p = p \cdot A$;
- *opterećenja zbog toplinskih deformacija* koja nastaju promjenom temperature.

U materijalu se uslijed opterećenja javljaju naprezanja koje nije moguće točno odrediti iz dva razloga:

- zbog materijala koji nema jednaka fizikalna svojstva u svim pravcima,
- zbog promjena poprečnog presjeka i odstupanja od idealne raspodjele naprezanja te utjecaja djelovanja zareza uslijed obrade dijelova.

Prema vremenu opterećenja, naprezanja mogu biti:

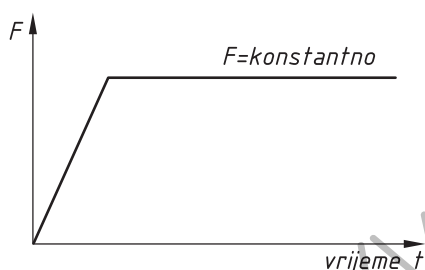
- *statička ili mirna opterećenja* (slika 1-4), kod kojih se nakon postizanja nazivne veličine opterećenje s vremenom ne mijenja. Pri ovom opterećenju su dijelovi u statičkoj ravnoteži. Iako se u stvarnosti rijetka, često su osnova za proračune;
- *dinamička opterećenja*, koja se u vremenu mijenjaju po veličini i/ili po smjeru. Promjene mogu biti slučajne ili periodičke, a s obzirom na smjer djelovanja: istosmjerna promjenjiva (slika 1-5 a i b) i raznosmjerna promjenjiva (slika 1-5 c i d). Veličina amplitudnog opterećenja je:

$$F_a = (F_{maks} - F_{min})/2, \text{ a srednje opterećenje je } F_{sr} = (F_{maks} + F_{min})/2.$$

Što je broj promjena opterećenja veći u jedinici vremena, otpornost materijala je manja. Pokretni dijelovi strojeva su izloženi promjenjivim naprezanjima bez obzira na karakter vanjskog opterećenja. Naprezanja uslijed takvih opterećenja uzrokuju i umor materijala zbog kojeg nastaje lom, a

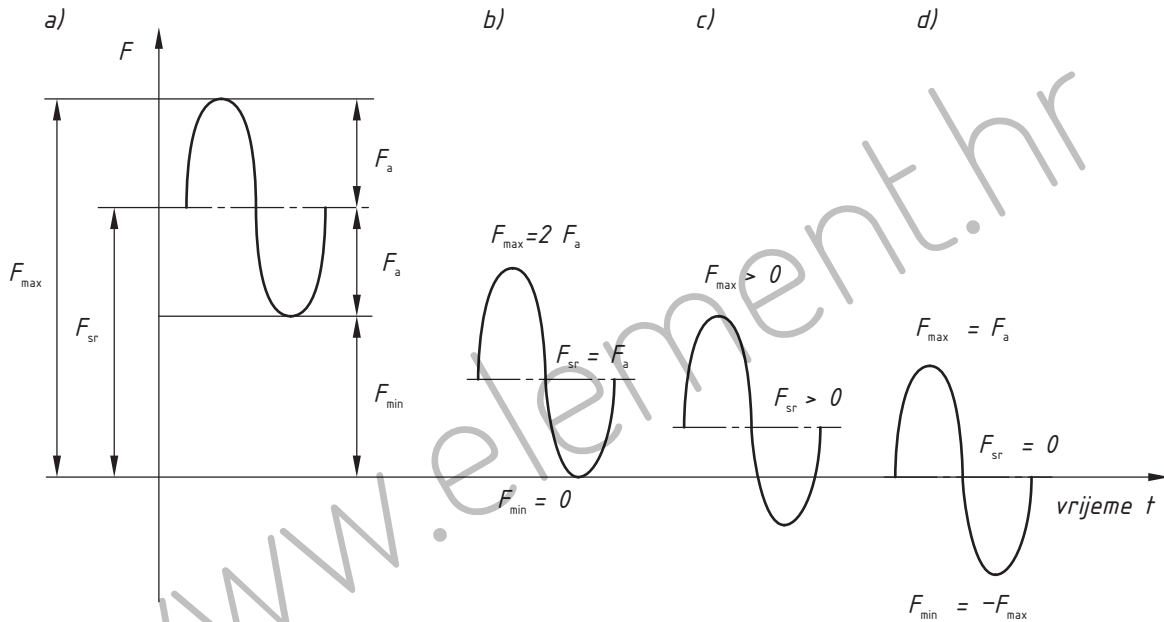
Slika 1-4

Statičko opterećenje



Slika 1-5

Dinamička opterećenja
 a i b) Istosmjerna promjenjiva naprezanja
 c i d) raznosmjerna promjenjiva naprezanja



Dinamička čvrstoća strojnog dijela

Dinamička čvrstoća strojnog dijela je manja od dinamičke čvrstoće materijala (probne epruvete iz istog materijala) zbog oblika strojnog dijela, dimenzija i kvalitete obrađene površine.

Oblik – koncentracija naprezanja je posljedica promjene presjeka strojnih dijelova i drugih promjena oblika jer na mjestu promjene nastaje skok naprezanja. Faktor koji kazuje koliko je puta maksimalno naprezanje veće od nazivnog naprezanja naziva se faktor koncentracije naprezanja.

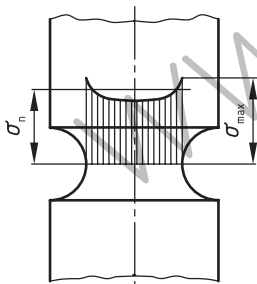
$$\alpha_k = \sigma_{maks} / \sigma_n \geq 1$$

Pri statičkim se opterećenjima pri dostizanju granice tečenja materijal na mjestima koncentracije naprezanja deformira, što uzrokuje ravnomjerniji raspored naprezanja. Kod dinamičkih opterećenja koncentracija naprezanja ima za posljedicu smanjenje dinamičke čvrstoće (slika 1-6). Elastični materijali su manje osjetljivi na koncentracije naprezanja od krtih. Nehomogeni materijali kao SL u velikoj mjeri poništavaju koncentracije naprezanja pa se dinamička čvrstoća malo razlikuje od čvrstoće epruvete. Osjetljivost materijala na koncentracije naprezanja pokazuje faktor osjetljivosti materijala na koncentracije naprezanja β .

S povećanjem dimenzija strojnih dijelova čvrstoća se smanjuje. Uzrok je u većem volumenu i većoj mogućnosti nehomogenosti i grešaka u materijalu, što povećava vjerojatnost nastanka i širenja pukotine i iskazano je faktorom dimenzija b (za promjer 100 mm iznosi 0,63 do 0,70).

Slika 1-6

Koncentracija naprezanja uslijed zreznog djelovanja

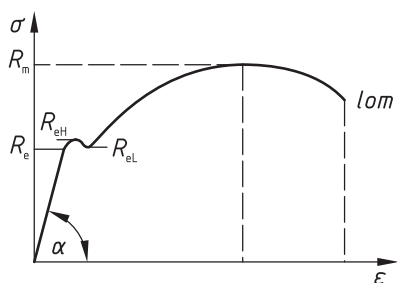


Kvaliteta površine ima utjecaj na dinamičku čvrstoću jer je koncentracija naprezanja na površini, a i utjecaj okoliša je najveći na površinu. Ovaj utjecaj se uzima u obzir faktorom kvalitete površine b_2 .

Dopušteno naprezanje

Slika 1-7

Hookov dijagram



Naprezanja u strojnim dijelovima ne smiju uzrokovati trajne deformacije. Zbog sigurnosti u pogonu za svaki materijal je određeno dopušteno naprezanje koje je manje od granice tečenja (slika 1-7). Koliko će ono biti manje ovisi o vrsti naprezanja, načinu opterećenja, trajanju opterećenja, pogonskoj sigurnosti i dr., a što je sadržano u koeficijentu sigurnosti S , slijedi:

$$\sigma_{vd} = \frac{R_e}{S} \frac{N}{\text{mm}^2}$$

σ_{vd} N/mm² vlačno dopušteno naprezanje,

R_e N/mm² granica tečenja materijala,

S koeficijent sigurnosti $S = 1,5$ do 2 statičko opterećenje,
 $S = 1,5$ do 2 dinamičko opterećenje.

Stvarno naprezanje u materijalu mora biti manje od dopuštenog:

$$\sigma_v \leq \sigma_{vd}$$

σ_v N/mm² stvarno naprezanje na vlak.

Odnos granice tečenja na odrez i na vlak pri statičkom opterećenju je:

$$\tau_{R_e} = (0,55 \text{ do } 0,65)R_e.$$

Normizacija i norme

Pojavom strojeva svaki je strojni dio bio konstruiran i proizveden pojedinačno samo za potrebe tog stroja. Povećanjem proizvodnje različitih strojeva neophodno je bilo dogovorno smanjenje raznolikosti oblika i dimenzija dijelova strojeva iste namjene i funkcionalnosti. Time je poboljšana i olakšana proizvodnja i eksploatacija strojeva, postignuta je ušteda energije, vremena potrebnog za proizvodnju te uštede na materijalu, uz povećanje pouzdanosti i sigurnosti. Ovakav postupak se naziva normizacija. Normizacijom se postižu brojne prednosti:

- masovna proizvodnja i automatizacija,
- laka zamjena istrošenih dijelova,
- smanjena skladišta materijala i alata,
- olakšana organizacija proizvodnje,
- povećana sigurnost rada uporabom normiranog proizvoda i dr.

Nedostaci pretjerane normizacije su izazivanje monotonije rada, ujednačenost proizvoda i usporavanje inovacija.

Normizacija je prihvaćanje i poštivanje propisa s ciljem organiziranosti u određenom području ljudske djelatnosti te dostizanja najveće moguće ekonomičnosti u ispunjavanju zahtjeva funkcionalnosti i sigurnosti.

Norma je dokument za određeno područje normizacije predstavljen u obliku propisa koji su prihvaćeni sporazumno i potvrđeni od strane institucije

Tablica 1-1

Osnovni redovi normiranih brojeva

Normirani brojevi osnovnih redova			
R5	R10	R20	R40
1,00	1,00	1,00	1,00
			1,06
		1,12	1,12
			1,18
	1,25	1,25	1,25
			1,32
		1,40	1,40
			1,50
1,60	1,60	1,60	1,60
			1,70
		1,80	1,80
			1,90
	2,00	2,00	2,00
			2,12
		2,24	2,24
			2,36
2,50	2,50	2,50	2,50
			2,65
		2,80	2,80
			3,00
	3,15	3,15	3,15
			3,35
		3,55	3,55
			3,75
4,00	4,00	4,00	4,00
			4,25
		4,50	4,50
			4,75
	5,00	5,00	5,00
			5,30
		5,60	5,60
			6,00
6,30	6,30	6,30	6,30
			6,70
		7,10	7,10
			7,50
	8,00	8,00	8,00
			8,50
		9,00	9,00
			9,50
10,00	10,00	10,00	10,00

za norme.

Razlikuju se sljedeće norme:

- *osnovna norma* – sadrži opće odredbe za određeno područje;
- *terminološka norma* – obuhvaća izraze koji se koriste u definicijama, objašnjenjima, ilustracijama, itd.;
- *norma ispitivanja* – sadrži metode ispitivanja, određuje uzorke i statističke metode;
- *norma proizvoda* – propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati proizvod ili skupina proizvoda za uporabu;
- *norma procesa* – propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati proces;
- *norma proračuna* – propisuje postupak proračuna da se osigura funkcionalnost strojnog dijela;
- *norma proizvodnje* – propisuje zahtjeve koje mora ispuniti proizvodnja za određenu namjenu.

Hrvatske norme imaju oznaku HRN, a norme preuzete iz međunarodnih normi ISO imaju oznaku HRN ISO. U Europskoj uniji norme imaju oznaku EN, a dijelom su preuzete iz njemačkih normi DIN, a dijelom iz normi drugih zemalja članica EU.

Normni brojevi i redovi

U gospodarstvu se koriste strojni dijelovi istog tipa, ali različitih veličina (vijci, matice, pera, vratila, itd.). Njihovu raznolikost je trebalo ograničiti i pritom zadovoljiti potrebe za različitim veličinama. Tako i pri dimenzioniranju strojnih dijelova treba težiti da se iznosi duljinskih mjera, površina, opterećenja itd., ograniče normnim brojevima. Uporaba dijelova normiranih dimenzija omogućava ekonomičniju proizvodnju, kontrolu, zamjenu istrošenih dijelova, što pojednostavljuje održavanja strojeva, a neophodna je pri tipizaciji i modularnoj gradnji strojeva.

Normni brojevi se dobivaju kao vrijednosti članova geometrijskoga reda koji se povećavaju za faktor prirasta čija je oznaka q , a određuje se po izrazu:

$$q = 10^{1/x},$$

gdje se vrijednost korijena bira kao $x = 5, 10, 20, 40$ ili 80 . Niz standardnih brojeva tvori se tako da se osnovni član reda a uzastopce množi faktorom q ($a, a \cdot q, a \cdot q^2, a \cdot q^3 \dots a \cdot q^n$) i dobivene vrijednosti minimalno zaokružuje.

Red normnih brojeva označava se slovom R , a pripadajući niz s $5, 10, 20, 40$ (ili 80 dopunski). Broj članova geometrijskog reda jednak je eksponentu tog reda ($R\ 5$ – u rasponu 1 do 10 je 5 članova reda, u redu $R\ 10$ je 10 članova, itd.) (tablica 1-1).

Područje 1 do 10 moguće je proširiti na 10 do 100 ili 100 do $1\ 000$ množenjem osnovnog reda s 10 ili 100 ili dijeljenjem s 10 ili 100 . Zbroj ili razlika normnih brojeva većinom nije normni broj, pri čemu može pomoći izuzetni red ili prilagođenim brojevima koji se dobivaju zaokruživanjem normnih brojeva.

Normni brojevi su nizovi brojeva koje treba upotrebljavati za iskaz fizikalne

veličine u brojčanoj vrijednosti i pritom koristiti normne nizove sa što većim stupnjem uvećanja. Koriste se za duljinske mjere i promjere u proračunima kad pomoću njih možemo na zadovoljavajući način izraziti izračunate vrijednosti, brojeve okretaja, snage, tlakove, dopuštena naprezanja i dr.

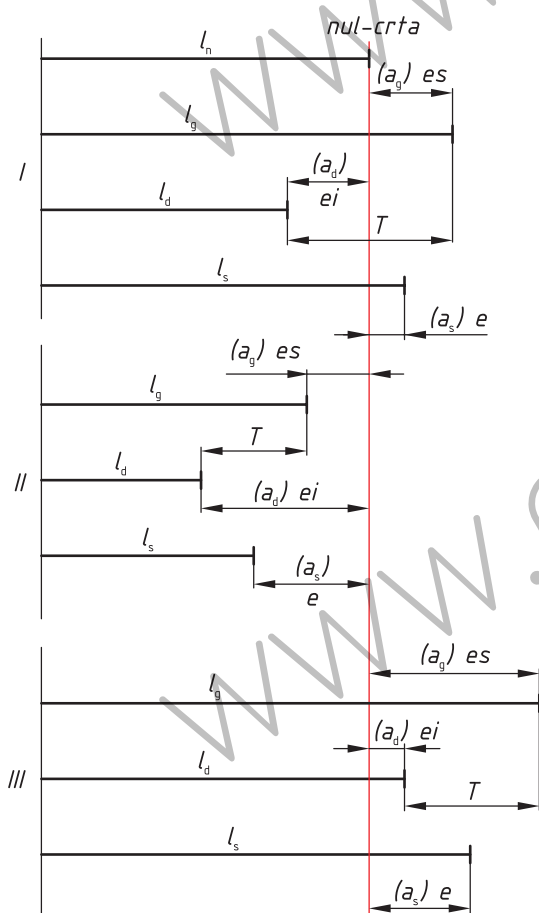
Tolerancije

Strojne dijelove nije moguće izraditi apsolutno točno u zadanoj mjeri zbog nepreciznosti i netočnosti strojeva i alata, nehomogenosti materijala izrade te toplinskih utjecaja okoline i netočnosti mjerenja. Nakon izrade dijela stvarne će mjere biti različite od zadanih mjera za veličinu odstupanja. Odstupanja treba ograničiti zbog zadane funkcije strojnog dijela i njegove zamjene doknadnim dijelom nakon istrošenosti. Veličine odstupanja ovise o namjeni strojnog dijela. Što su manja zahtijevana dopuštena odstupanja od nazivne mjere (manja tolerancija), izrada je skuplja, na što treba paziti pri izboru dopuštenog odstupanja.

Tolerancije duljinskih mjera (od 1 do 500 mm) su na međunarodnoj razini prvi put utvrđene 1928. godine.

Slika 1-8

Karakteristična odstupanja od nazivne mjere



Tolerancija

Dopušteno odstupanje od nazivne mjere naziva se tolerancija (slika 1-8).

Karakteristične veličine, mjere i odstupanja su:

- l_n nazivna mjera (duljina),
- l_g najveća mjera (duljina),
- l_d najmanja mjera (duljina),
- l_s stvarna mjera (duljina),
- es^* (a_g) gornje odstupanje (odmjera),
- ei^* (a_d) donje odstupanje (odmjera),
- e^* (a_s) stvarno odstupanje (odmjera),
- T tolerancija.

* *écart*, fr. - udaljenost između dviju vrijednosti, *inférieur*, fr. - inferioran (donji), *supérieur*, fr. - superioran (gornji).

Moguća su tri karakteristična odstupanja od nazivne mjere:

- I gornje odstupanje pozitivno (+), a donje negativno (-),
- II oba odstupanja negativna (-),
- III oba odstupanja pozitivna (+).

Vrste mjera na crtežima:

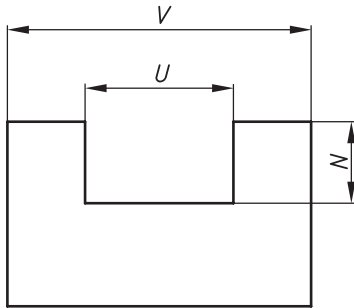
- netolerirane mjere ili slobodne mjere,
- tolerirane mjere.

Vrste mjera prema geometriji:

- duljinske mjere,
- mjere promjera.

Slika 1-9

Vanjska i unutarnja mjera



V - vanjska mjera
U - unutarnja mjera
N - neodređena mjera

Duljinske mjere i mjere promjera mogu biti (slika 1-9):

- vanjske,
- unutarnje.

U normama za tolerancije vanjska mjera je predstavljena osovinom, što vrijedi za sve vanjske mjere, a unutarnja provrtom, što vrijedi za sve unutarnje mjere.

Tolerancije prema namjeni su:

- duljinske - dopuštena odstupanja ili tolerancije slobodnih mjera,
- tolerancije dosjeda, ISO 286
- geometrijske ISO 1101:
 - tolerancije oblika,
 - tolerancije položaja.

Tolerancije slobodnih mjera

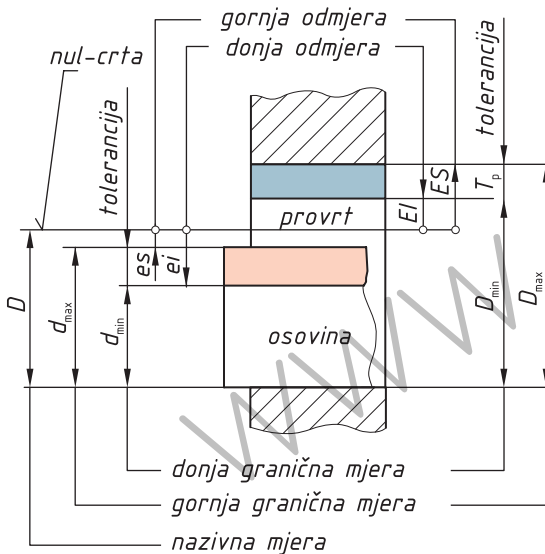
Ponekad funkcionalnost strojnog dijela ili sastavljanje u sklop, kao ni njegova sigurnost, ne ovisi o drugim strojnim dijelovima ili mjerama strojnog dijela. To, pak, ne znači da mjere u izradi mogu biti proizvoljne. Te mjere nazivamo slobodnim ili netoleriranim mjerama, a njihovo odstupanje propisuje norma u ovisnosti o veličini mjere, stupnju točnosti i tehnologiji obrade.

Dosjedi

Dosjed ili spoj je odnos stvarnih mjera dvaju dijelova iste nazivne mjere prije spajanja, a da bi oni bili spojeni u jednu cjelinu, potrebno ih je izraditi u određenom odstupanju.

Slika 1-10

Karakteristične veličine mjere i odstupanja provrta i osovine



Karakteristične veličine mjere i odstupanja provrta i osovine (Slika 1-10)

Vanjska mjera d je mjera osovine ili čepa.

Unutrašnja mjera D je mjera provrta.

Nazivna mjera D je zajednička mjera osovine i provrta u dosjedu.

Gornja granična mjera D_g , d_g je najveća dopuštena mjera provrta ili osovine.

Donja granična mjera D_d , d_d je najmanja dopuštena mjera provrta ili osovine.

Gornje odstupanje $ES \equiv A_g$, $es \equiv a_g$ je algebarska razlika gornje granične mjere i nazivne mjere (ES i es su nove oznake gornjih odstupanja):

$$ES \equiv A_g = D_g - D, \quad es \equiv a_g = d_g - D.$$

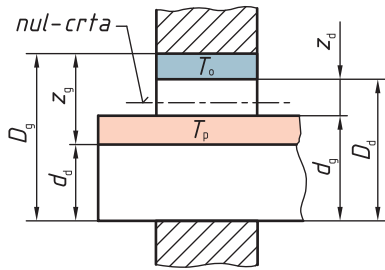
Donje odstupanje $EI \equiv A_d$, $ei \equiv a_d$ je algebarska razlika donje granične mjere i nazivne mjere (EI i ei su nove oznake donjih odstupanja):

$$EI \equiv A_d = D_d - D, \quad ei \equiv a_d = d_d - D.$$

Stvarna mjera D_s , d_s je mjera izrađenog predmeta između gornje i donje granične mjere dimenzije predmeta.

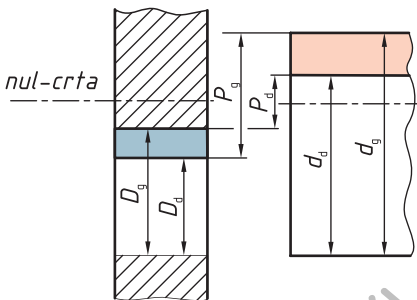
Slika 1-11

Labavi dosjed



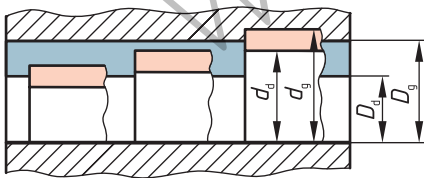
Slika 1-12

Čvrsti dosjed



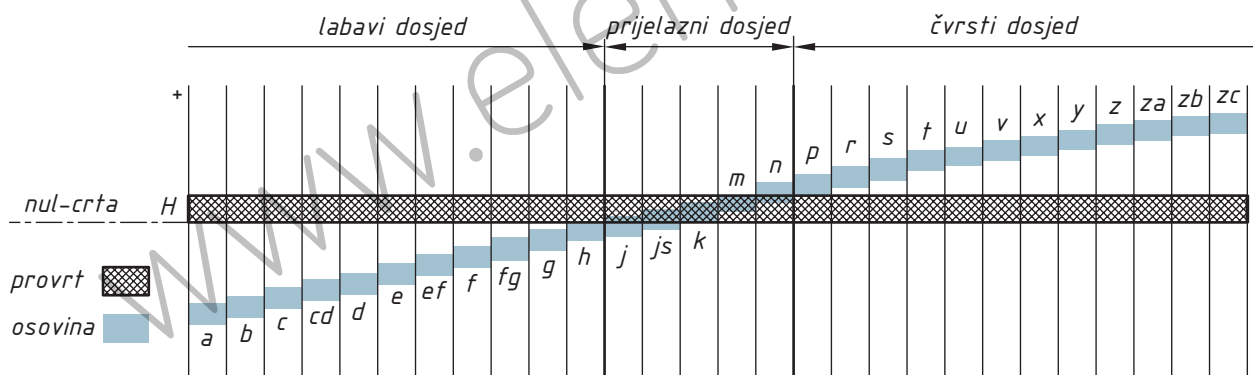
Slika 1-13

Prijelazni dosjed



Slika 1-14

Sustav jedinstvenog provrta



Stvarno odstupanje A_s , a_s je algebarska razlika stvarne i nazivne mjere:

$$A_s = D_s - D, \quad a_s = d_s - d.$$

Tolerancija T je dopušteno odstupanje između gornje i donje granične mjere:

$$T = D_g - D_d = ES - EI, \quad T = d_g - d_d = es - ei.$$

Nul-crta je linija od koje se mjere odstupanja, a odgovara nazivnoj mjeri.

Tolerancijsko polje

Jedinica tolerancije i je vrijednost određena mjestom u skupini nazivne mjere. Izražava se u (μm).

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D \text{ (}\mu\text{m)} \text{ za } D = 1 \div 500 \text{ mm,}$$

$$D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}} \text{ (mm),}$$

$$i = 0,004D + 2,1 \text{ (}\mu\text{m)} \text{ za } D = 500 \div 3150 \text{ mm.}$$

Vrste dosjeda

U vrste dosjeda ubrajamo labavi, prijelazni i čvrsti dosjed.

Labavi dosjed je dosjed pri kojem nastaje zračnost jer je gornja granična mjera osovine manja od donje granične mjere provrta (slika 1-11).

Čvrsti dosjed je dosjed pri kojem nastaje preklap ili prisnost jer je donja granična mjera osovine veća od gornje granične mjere provrta (slika 1-12).

Prijelazni dosjed je dosjed pri kojem može nastati zračnost ili prisnost (slika 1-13).

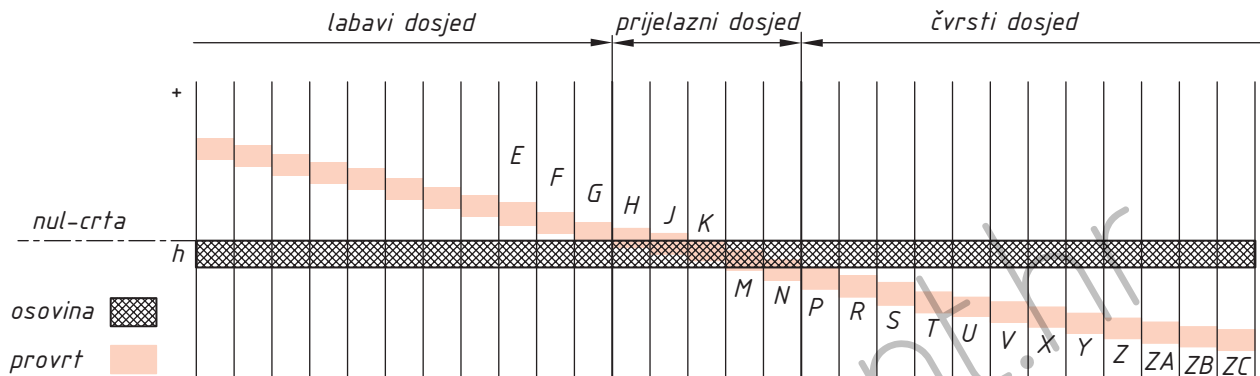
Sustavi dosjeda mogu biti u sustavu jedinstvenog provrta ili sustava jedinstvene osovine.

U **sustavu jedinstvenog provrta** za provrt se uzima tolerancijsko polje istog položaja H , a vrsta dosjeda postiže se uparivanjem s različitim tolerancijskim poljima osovine (slika 1-14).

U **sustavu jedinstvene osovine** za osovinu se uzima tolerancijsko polje istog položaja h , a vrsta dosjeda postiže se uparivanjem s različitim tolerancijskim poljima provrta (slika 1-15).

Slika 1-15

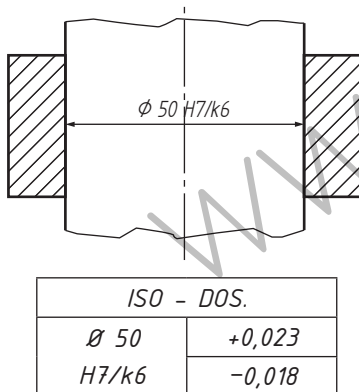
Sustav jedinstvene osovine



Tolerancija dosjeda - označavanje je prema slici 1-16.

Slika 1-16

Tolerancija dosjeda



Tolerancije provrta i osovine

Označavanje provrta i osovine je prema slici 1-17.

Za vanjski i unutarnji promjer tolerancija se označava na sljedeći način:

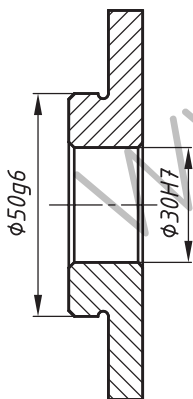
- $\phi 30$ - nazivna mjera provrta;
- H- tolerancijsko polje provrta, g - tolerancijsko polje osovine;
- 7 - kvaliteta tolerancije provrta, 6 - kvaliteta tolerancije osovine.

ISO - TOL.		
$\phi 30 H7$	+0,025	30,025 - najveći promjer provrta
	0	30,000 - najmanji promjer provrta
$\phi 50 g6$	-0,009	49,991 - najveća mjera osovine
	-0,025	49,975 - najmanja mjera osovine

Tolerancije dosjeda i tolerancije unutrašnjih mjera provrta i vanjskih mjera osovine prema veličini nazivne mjere uzimaju se iz tablica strojarskih priručnika, a prednosne dosjede u sustavu jedinstvenog provrta i osovine možemo pronaći u tablici 1-2.

Slika 1-17

Tolerancija provrta i osovine



Tolerancije oblika i položaja

Tolerancije oblika

Osim točnosti duljinskih mjera za funkciju ili sklapanje strojnog dijela, važna je i geometrijska točnost oblika. Strojni dio okruglog presjeka (osovina, vratilo) može po cijeloj duljini u svakom presjeku imati mjeru s vrlo malim odstupanjem, ali u prostoru može biti savijen, što ne odgovara ni funkciji ni mogućnosti sastavljanja. Stoga je potrebno odrediti i geometrijske tolerancije dijela predmeta (elementa) za odstupanje od teorijskog geometrijskog oblika koje određuju područje i granice u kojem se element mora nalaziti.

Tolerancije oblika su odstupanja dijela predmeta ili elementa od točnog geometrijskog oblika ili referentnog elementa.

Referentni element je mjesto (referenca) od koje se mjeri odstupanje.

Tablica 1-2

Prednosni dosjedi u sustavu jedinstvenog provrta i jedinstvene osovine

Tolerancije položaja se odnose na prostorna odstupanja međusobnog odnosa dvaju ili više elemenata (bridova, središnjica, ploha). One određuju područje tolerancije u kojem promatrani element mora ležati i smije imati proizvoljni oblik.

dosjed		labavi										prijelazni						čvrsti						
Jedinstveni provrt	H6	/												j5	j6	k5	k6	m5	n6	p5	r5			
	H7	/						f6	f7	g6	h6			j6		k6		m6	n6	p6	r6	s6		
	H8	/		c9	d9			e8	f7	f8		h8	h9										u8	x8
	H9	/			d10			e9	f8			h8	h9	h11										
	H11	/	a11	b11	c11	d9	d11						h9	h11										
	H12	/										h12												
Jedinstvena osovina	h5	/									G6	H6		J6		K6		M6	N6	P6	R6			
	h6	/						F7	F8	G7	H7			J7		K7		M7	N7	P7	R7	S7		
	h8	/		B9	C9	D9		E8	F7	F8		H8	H9											
	h9	/			C11	D10		E9	F8			H8	H9	H11									1. prednost	
	h11	/	A11	B11	C11	D9	D10	D11					H9	H11									2. prednost	
	h12	/										H12											3. prednost	

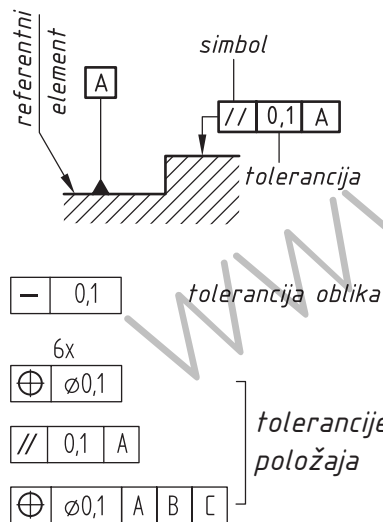
Označavanje tolerancija oblika i položaja

Tolerancije se zadaju u pravokutniku podijeljenom na dva ili više dijelova u koji se, prema slici 1-18, stavlja:

- **oznaka** (simbol) za način ili svojstvo odstupanja prema elementu ili vrsti odstupanja (u prvom polju - kvadrat pravokutnika),
- **vrijednost** u istoj mjernoj jedinici kao i mjerni broj (u drugom polju pravokutnika),
- **broj istih detalja** na koje se odnosi tolerancija – iznad pravokutnika,
- **slovo** za oznaku elementa ili više slova za oznake više elemenata koji su baze.

Slika 1-18

Označavanje tolerancija oblika i položaja



Tablica 1-3

Tolerancije oblika

	Simbol	Opis tolerancijskog područja	Primjeri
Pravocrtnost		<p>Tolerancija za pravocrtnost zadana je samo u jednom pravcu i sve točke moraju ležati između dviju paralelnih ravnina razmaka t. Tolerancija za pravokutnost zadana je u dva međusobno okomita pravca i sve točke moraju ležati unutar kvadra presjeka $t_1 \times t_2$. Tolerancijskoj vrijednosti prethodi znak \emptyset i sve točke moraju ležati unutar cilindra promjera t.</p>	
Ravnost		<p>Sve točke tolerirane površine moraju ležati između dviju paralelnih ravnina razmaka t.</p>	
Kružnost		<p>U svakoj presječnoj ravnini okomitoj na os tolerirana linija opsega mora ležati između dva koncentrična kruga radijalnog razmaka t.</p>	
Cilindričnost		<p>Sve točke plohe cilindričnog plašta moraju ležati između dva koaksijalna cilindra radijalnog razmaka t.</p>	
Oblik linije		<p>Tolerirani profil u svakoj ravnini presjeka paralelnoj s ravninom crteža mora ležati između ovojnice krugova promjera t čija središta leže na geometrijski idealnoj liniji.</p>	
Oblik plohe		<p>Sve točke tolerirane plohe moraju ležati između dviju ploha koje su ovojnice kugli promjera t čija središta leže na geometrijski idealnoj plohi.</p>	

Tablica 1-4

Tolerancije položaja

	Simbol	Opis tolerancijskog područja		Primjeri
Paralelnost		 	<p>Tolerancijskoj vrijednosti za paralelnost linije prethodi znak \emptyset. Sve točke te linije moraju biti unutar cilindra promjera t paralelnog s referentnom linijom.</p> <p>Sve točke tolerirane površine moraju ležati između dviju paralelnih ravnina razmaka t koje su paralelne s referentnom linijom.</p>	
Okomitost			<p>Sve točke tolerirane površine moraju ležati između dviju paralelnih linija razmaka t, okomite na referentnu liniju.</p>	
Kut nagiba			<p>Sve točke tolerirane površine moraju ležati između dviju paralelnih ravnina razmaka t, nagnute pod zadanim geometrijski idealnim kutom prema referentnoj osi.</p>	
Smještaj			<p>Tolerancijskoj vrijednosti za mjesto linije prethodi znak \emptyset. Sve točke te linije moraju ležati unutar tog cilindra unutar promjera t čija se os nalazi u geometrijski idealnom prostoru.</p>	
Koncentričnost i koaksijalnost			<p>Tolerancijskoj vrijednosti za koaksijalnost osi prethodi znak \emptyset. Sve točke te osi moraju ležati unutar cilindra promjera t, koaksijalnog s referentnom osi.</p>	
Simetričnost			<p>Tolerirana središnja ravnina mora ležati između dviju paralelnih ravnina razmaka t koje su podjednako udaljene od referentne središnje ravnine.</p>	
Točnost vrtnje	<p>kružnost ravnost</p> <p>cilindričnost</p>	 	<p>Pri okretanju tolerirane površine oko referentne osi točke površine u svakom mjernom cilindru, odnosno ravnini moraju ležati između dva kruga razmaka t čije središte leži na referentnoj osi.</p>	

Pitanja za provjeru

1. Što je stroj?
2. Koje su vrste strojeva?
3. Što je dio, a što element stroja?
4. Koje su vrste elementa strojeva prema funkciji?
5. Koji su zahtjevi na dijelove strojeva?
6. Što utječe na izbor materijala?
7. Koje su vrste opterećenja prema vremenu?
8. Što je dinamička čvrstoća materijala?
9. Kakvo je dopušteno naprezanje u odnosu na granicu razvlačenja?
10. Zašto je potrebna normizacija?
11. Što znači R10?
12. Kojih redova su normni brojevi članovi?
13. Što je tolerancija?
14. Koje su vrste tolerancija prema namjeni?
15. Koje su karakteristične veličine mjere?
16. Što je dosjed?
17. Koje su vrste dosjeda?
18. Nabrojite tolerancije oblika.
19. Nabrojite tolerancije položaja.