

9

Elementi strojeva

Ključni pojmovi

zavar
vijak
zatik
glavina
osovina
vratilo
ležaj
spojka
zupčanik
puž
tarenica
remenica
zupčaste remenice
navojno vretneno
periferni prijenos
zaporni element

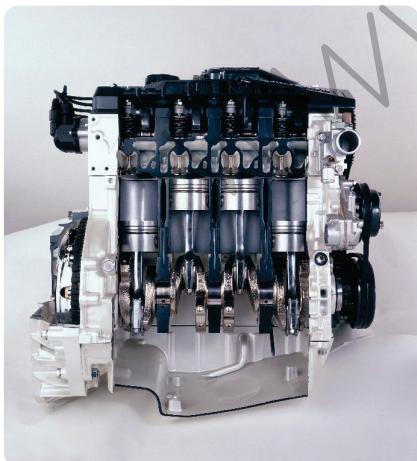
Ciljevi

- Razlikovati nerastavne spojeve prema oblikovanju i primjeni
- Objasniti funkcije pojedinih elemenata rastavnog spoja
- Nabrojiti vrste pojedinih elemenata rastavnog spoja
- Spoznati funkcije opruge
- Razlikovati opruge prema obliku, opterećenju i namjeni
- Spoznati funkciju nosivih i oslonih elemenata strojeva
- Razlikovati pojedine vrste nosivih i oslonih elemenata strojeva
- Razlikovati prijenose snage i gibanja prema načinu rada
- Usvojiti osnovne veličine elemenata za prijenos snage i gibanja
- Usvojiti elemente protoka para, plinova i tekućina
- Razlikovati elemente za regulaciju protoka para, plinova i tekućina



Slika 9.1.

Stroj



Slika 9.2.

Sklop stroja



Slika 9.3.

Strojni dijelovi

9.1. Uvod

Strojarstvo je područje tehnike, čiji je cilj svršishodno 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 stupni 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 korišnoga 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.

9.1.1. Osnovni pojmovi

Stroj predstavlja skup određenog broja strojnih dijelova skladno sastavljenih u funkcionalnu cjelinu, pri čemu svaki dio obavlja točno određenu zadaću (slika 9.1.). 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 (slika 9.2.).

Strojni dio je elementarni dio stroja koji obavlja točnu određenu zadaću zajedno s drugim elementima strojeva, kao primjerice, vijak, opruga, vratilo, zupčanik, i dr. (slika 9.3.). Stoga strojni dio nije moguće dalje rastaviti.

Prema funkciji elemente strojeva su:

1. Elementi za spajanje

- elementi za nerastavno spajanje - zavari, lemljeni spojevi, zakovani, lijepljeni, porubljeni spojevi;
- elementi za rastavno spajanje - zatice, vijci i veze glavine.

2. Nosivi i osloni elementi strojeva su osovine i vratila te ležaji.

3. Elementi i uređaji za podmazivanje i brtvenje.

4. Elementi 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 stupni mehanizam.

5. Elementi za protok i regulaciju - cijevi, ventili, zasuni, pipci i zaklopke.

Oblik i dimenzije strojnih dijelova

Dijelovi strojeva trebaju odgovarati zahtjevima, a najvažniji su:

- funkcionalnosti i namjene,
- radne sposobnosti,
- proizvodnosti i
- ekonomičnosti.

Zahtjevi su međusobno ovisni i ponekad u suprotnosti, tako da ih nije moguće u potpunosti ispuniti.

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.

Radna sposobnost zahtjeva dovoljno veliku čvrstoću i krutost, nosivost 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, zavarena izvedba i dr.).

Zahtjevi **ekonomičnosti** se nameću zbog konkurencije, a to su jeftina izrada i eksploracijacija stroja.

Izbor materijala strojnog dijela

Na izbor materijala strojnog dijela utječe zahtjevana 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.;
- o 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, stoga treba imati dobra tehnološka svojstva: livnost, zavarljivost, kovnost, obradivost skidanjem strugotine, toplinsku obradivost.

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.

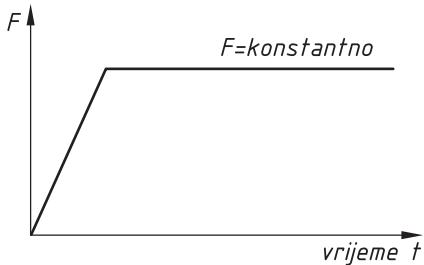
Opterećenje, dinamička čvrstoća i dopušteno naprezanje

Mehanička **opterećenja** strojnih dijelova koja su posljedica nazivne snaže i brzine vrtnje nazivaju se nazivna opterećenja. Radno opterećenje može biti stalno (konstantno) ili promjenjivo opterećenje u vremenu (intermitirajuće) kod vozila, dizala i dr.

Prema vremenu, opterećenja (a to znači i naprezanja) mogu biti:

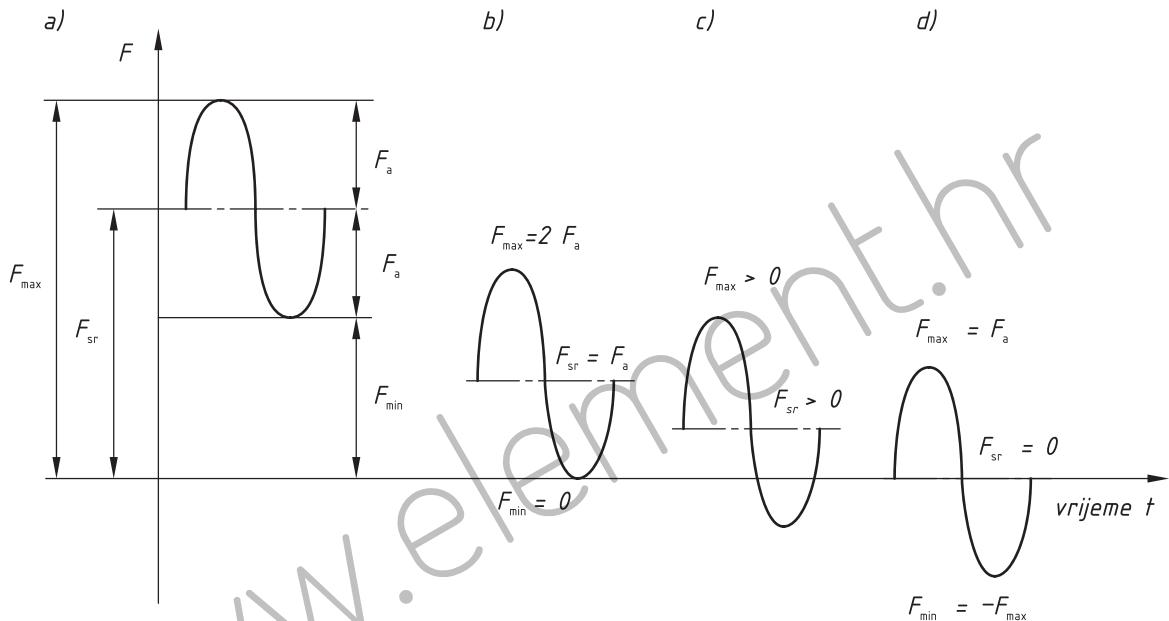
- **Statička ili mirna opterećenja** kod kojih se nakon postizanja nazivne veličine opterećenje s vremenom ne mijenja. Pri ovom opterećenju su dijelovi u statičkoj ravnoteži. Iako su u stvarnosti rijetka, često su osnovica za proračune (slika 9.4.),
- **Dinamička opterećenja** koja se u vremenu mijenjaju po veličini i/ili po smjeru. Promjene mogu biti slučajne ili periodičke, a s obzirom na smjer djelovanja, istosmjerna i izmjenična (slika 9.5.).

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 nepovoljan utjecaj imaju i utori i zarezna djelovanja. Otpornost dinamičkim naprezanjima je sadržana u **dinamičkoj čvrstoći**, a to je najveće dinamičko naprezanje koje strojni element može izdržati trajno bez loma. Dinamička čvrstoća strojnog dijela je manja od dinamičke čvrstoće materijala (probne epruvete iz istog materijala) zbog oblika strojnog dijela, dimenzija i kvaliteti obrađene površine.



Slika 9.4.

Statičko opterećenje



Slika 9.5.

Dinamička opterećenja:

- a i b) istosmjerna izmjenična naprezanja
- c i d) raznosmjerna izmjenična naprezanja

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 razvlačenja. Koliko će ono biti manje ovisi o vrsti naprezanja, načinu opterećenja, trajanju opterećenja, pogonskoj sigurnosti i dr., a što je sadržano u faktoru sigurnosti S .

Normizacija i norme

Pojavom strojeva svaki je dio stroja 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 te uštede na materijalu, uz povećanje pouzdanosti i sigurnosti. Ovakav postupak se naziva normizacija.

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 području normizacije, predstavljen u obliku propisa koji su prihvaćeni sporazumno i potvrđeni od strane institucije za norme. U Hrvatskoj norme imaju oznaku HRN.

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

Tablica 9.1.

Osnovni redovi normiranih brojeva

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

Normni brojevi i redovi

U gospodarstvu se koriste strojni dijelovi istog tipa, ali različitih veličina (vijci, pera, ležaji itd.). Njihovu raznolikost je trebalo ograniciti i pritom zadovoljiti potrebe za razlicitim veličinama, a to je riješeno normnim brojevima koji se dobivaju kao vrijednosti članova geometrijskoga reda q . Određuju se po izrazu:

$$q = 10^{\frac{1}{x}} = \sqrt[10]{10},$$

gdje se vrijednost korijena bira kao $x = 5, 10, 20, 40$ ili 80 . Niz standarnih brojeva tvori se tako da se osnovni član reda a uzastopce množi s faktorom q ($a, a \cdot q, a \cdot q^2, a \cdot q^3 \dots a \cdot q^n$) i dobivene vrijednosti minimalno zaokruže. Red normiranih 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 ($R5$ – u rasponu od 1 do 10 je 5 članova reda, u redu $R10$ je 10 članova ...) (tablica 9.1.).

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 na manje.

Normni brojevi su nizovi brojeva koje treba upotrebljavati za iskaz fizikalne veličine u brojčanoj vrijednosti. Koriste se za mjere u proračunima kad se pomoću njih može na zadovoljavajući način izraziti izračunate vrijednosti, brojeve okretaja, snage, tlakove, dopuštena naprezanja i dr.

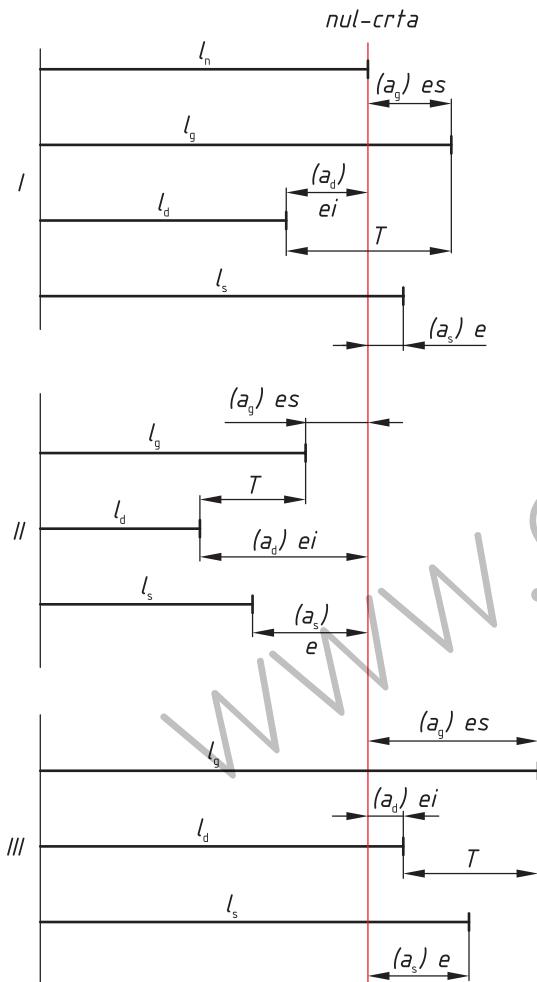
9.1.2. Tolerancije

Strojne dijelove nije moguće izraditi u zadanoj mjeri zbog nepreciznosti i netočnosti strojeva i alata, nehomogenosti materijala izrade te toplinskih utjecaja okoline i netočnosti mjerjenja. Nakon izrade dijela stvarne mjere bit će različite od zadnih mjera za veličinu odstupanja. Odstupanja treba ograniciti zbog zadane funkcije strojnog dijela i njegove zamjene nakon istrošenosti. Veličine odstupanja ovise o namjeni strojnog dijela. Što su manja zahtjevana dopuštena odstupanja od nazivne mjeri, izrada je skuplja, na što treba paziti pri izboru dopuštenog odstupanja.

Tolerancija

Dopušteno odstupanje od nazivne mjeri nazivamo tolerancijom (slika 9.6.). Mjera zadana na predloženom predmetu crtežom idealna je i u stvarnosti je nije moguće postići. Tolerancije duljinskih mjeri (od 1 do 500 mm) su na međunarodnoj razini prvi put utvrđene 1928. godine.

Mjere na crtežima mogu biti netolerirane mjeri ili slobodne mjeri i tolerirane mjeri.



Slika 9.6.

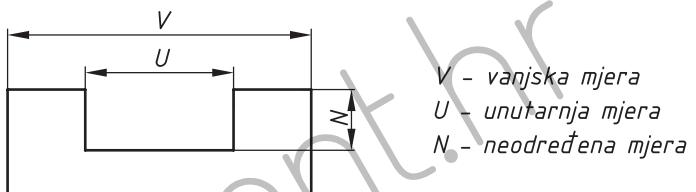
Karakteristična odstupanja od nazivne mjere

Tablica 9.2.

IT tolerancija

D mm		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
iznad	do	Tolerancija μm													
0	500	71	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i
Uporaba		Opće strojarstvo										Gruba obrada			Netol. mjere

Vrste mjera prema geometriji su duljinske mjere i mjere promjera. Duljinske mjere i mjere promjera mogu biti vanjske i unutarnje (slika 9.7.).



Slika 9.7.

Vanjska i unutarnja mjera

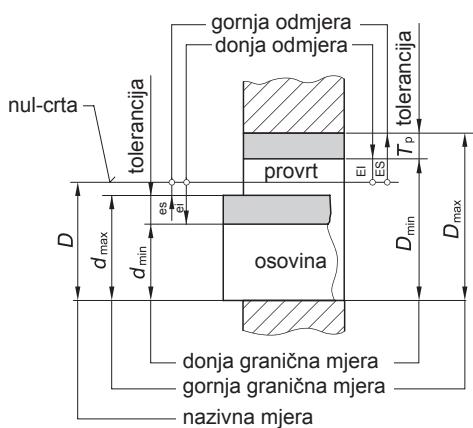
U normama za tolerancije vanjska mjera je predstavljena osnovnom, što vrijedi za sve vanjske mjere, a unutarnja prvorotom, što vrijedi za sve unutarnje mjere.

Tolerancije prema namjeni su:

- duljinske, s proizvoljno propisanim dopuštenim odstupanjima ili slobodne mjere s normiranim odstupanjima,
- tolerancije dosjeda, ISO 286
- geometrijske su tolerancije oblika i tolerancije položaja ISO 1101

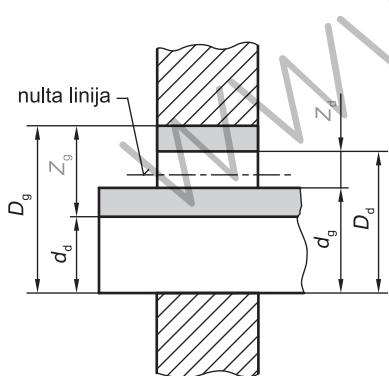
Tolerancije slobodnih mjera

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 se mjere nazivaju slobodnim ili netoleriranim mjerama, a njihovo odstupanje propisuje norma u ovisnosti o veličini mjeru, stupnju točnosti i tehnologiji obrade.



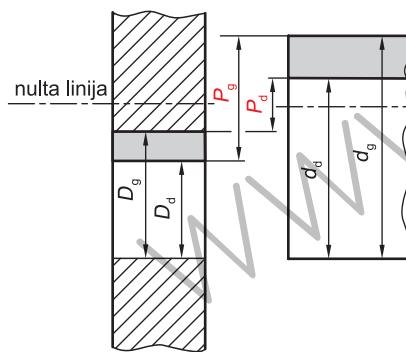
Slika 9.8.

Karakteristične veličine mjere i odstupanja provrta i osovine



Slika 9.9.

Labavi dosjed



Slika 9.10.

Čvrsti dosjed

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.

Karakteristične veličine mjere i odstupanja (slika 9.8.)

Vanjska mjera d je mjera osovine ili rukavca.

Unutarnja mjera D je mjera provrta.

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

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

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

Gornje odstupanje $ES \equiv A_g = d_g - D$, $es \equiv a_g = d_g - d$ algebarska je razlika gornje granične mjeru i nazivne mjeru (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 $EI \equiv A_d = D_d - D$, $ei \equiv a_d = d_d - D$ algebarska je razlika donje granične mjeru i nazivne mjeru (EI i ei su nove oznake donjih odstupanja):

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

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

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

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

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

$$T = D_g - D_d, \quad T = d_g - d_d.$$

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

Tolerancijsko polje

Jedinica tolerancije i vrijednost je određena mjestom u skupini nazivne mjeru. Izražava se u μm .

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

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

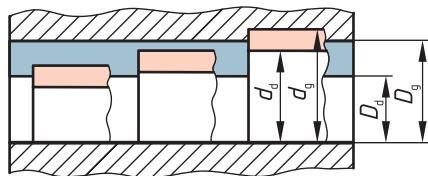
$$i = 0,004D + 2,1 \text{ } \mu\text{m} \text{ za } D = 500 \div 3150 \text{ mm.}$$

Vrste dosjeda

U vrste dosjeda ubrajamo labavi, prijelazni i čvrsti dosjed.

Labavi dosjed je dosjed pri kojem nastaje zračnost jer je gornja granična mjeru osovine manja od donje granične mjeru provrta (slika 9.9.).

Čvrsti dosjed je dosjed pri kojem nastaje preklop ili prisnost jer je donja granična mjeru osovine veća od gornje granične mjeru provrta (slika 9.10.).



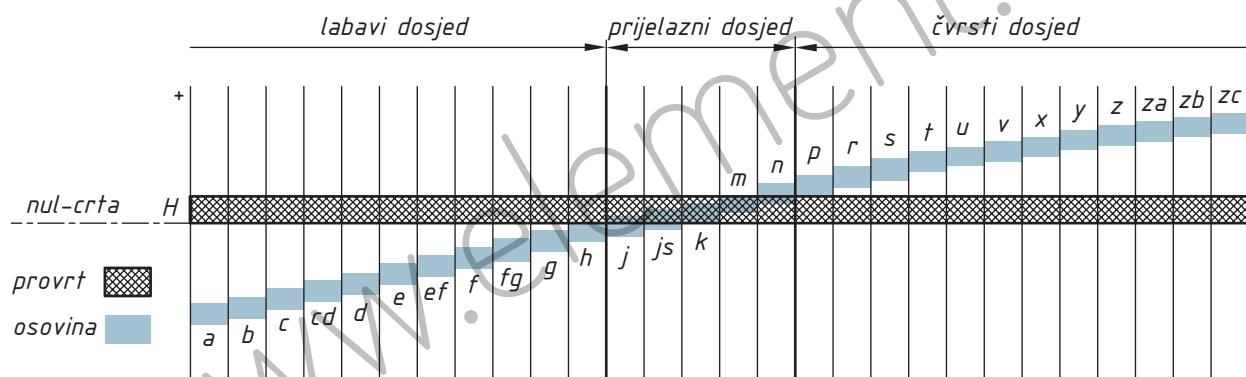
Slika 9.11.

Prijelazni dosjed

Prijelazni dosjed je dosjed pri kojem može nastati zračnost ili prisnost (slika 9.11.).

Sustavi dosjeda mogu biti u sustavu zajedničkog provrta ili sustava zajedničke osovine.

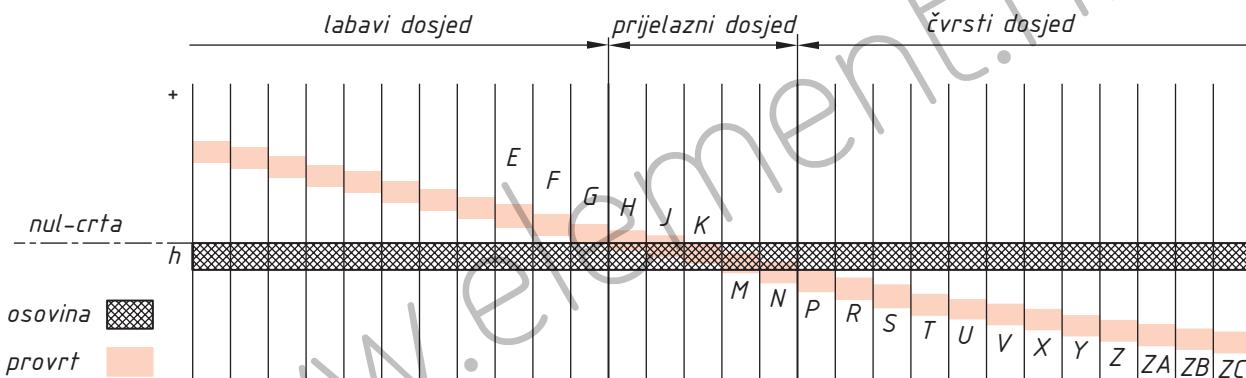
U **sustavu jedinstvenog provrta** za provrt se uzima toleransijsko polje istog položaja H , a vrsta dosjeda postiže se uparivanjem s različitim toleransijskim poljima osovine (slika 9.12.).



Slika 9.12.

Sustav jedinstvenog provrta

U **sustavu jedinstvene osovine** za osovini se uzima toleransijsko polje istog položaja h , a vrsta dosjeda postiže se uparivanjem s različitim toleransijskim poljima provrta (slika 9.13.).



Slika 9.13.

Sustav jednostavne osovine

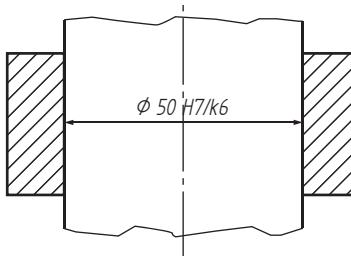
Tolerancija dosjeda - označavanje je prema slici 9.14.

Tolerancije provrta i osovine

Označavanje provrta i osovine je prema slici 9.15.

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

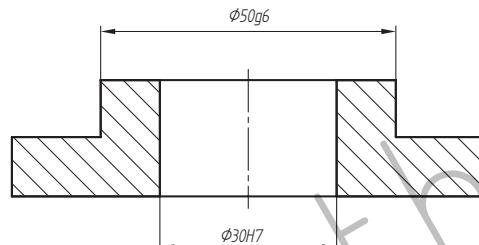
- $\varnothing 30$ - nazivna mjera provrta;
- H - toleransijsko polje provrta; g - toleransijsko polje osovine;
- 7 - kvaliteta tolerancije provrta; 6 - kvaliteta tolerancije osovine.



ISO - DOS.	
Ø 50 H7/k6	+0,023
	-0,018

Slika 9.14.

Tolerancija dosjeda



ISO - TOL.	
Ø 30 H7	+0,025
	0
Ø 50g6	-0,009
	-0,025

30,025 - najveći promjer prvrta
 30,000 - najmanji promjer prvrta
 49,991 - najveća mjera osovine
 49,975 - najmanja mjera osovine

Slika 9.15.

Tolerancija prvrta i osovine

Tablica 9.3.

Prednosni dosjedi u sustavu jedinstvenog prvrta i jedinstvene osovine

dosjed		labavi												prijelazni						čvrsti			
Jedinstveni prvrt	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												
	h5	/								G6	H6		J6		K6		M6	N6	P6	R6			
Jedinstvena osovina	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	

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, a 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.

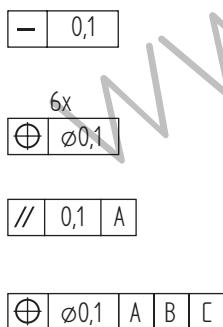
Tolerancije oblika su odstupanja dijela predmeta ili elementa od točnog geometrijskog oblika ili referentnog elementa, a to su pravocrtnost, ravnost, kružnost, cilindričnost, oblik linije i oblik plohe.

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

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. Tolerancije položaja su: paralelnost, okomitost, kut nagiba, smještaj, koncentričnost i koaksijalnost, simetričnost.

Označavanje tolerancija oblika i položaja

Tolerancije se zadaju u pravokutniku podijeljenom na dva ili više dijelova u koji se stavlja, prema slici 9.16.:



Slika 9.16.

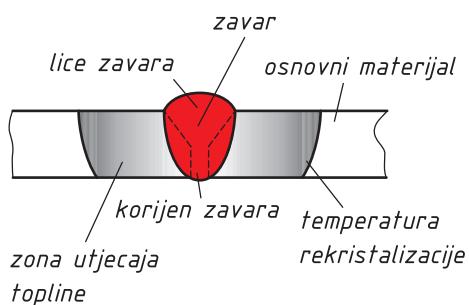
Označavanje tolerancija oblika i položaja

- **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;
- **slово** za oznaku elementa ili više slova za oznake više elemenata koji su baze.

9.2. Nerastavni spojevi

Nerastavne spojeve prema nastanku dijelimo na:

- spojeve nastale promjenom materijal,
 - zavarivanjem - elektrolučno i elektrootporno,
 - lemljenjem - meko i tvrdo,
 - lijepljenjem i kitanjem;
- spojeve nastale plastičnom deformacijom
 - zakivanjem - posredno zakovicama i neposredno,
 - presavijanjem,
 - pregibanjem i utiskivanjem;
- spojeve nastale elastičnom deformacijom
 - stezni spojevi.



Slika 9.17.

Zavareni spoj

9.2.1. Zavareni spoj

Zavareni spoj predstavlja spajanje dijelova zavarom (HRN C.T3.001). Područje spoja se naziva zavar (slika 9.17.).

Uporaba i primjena zavarenog spoja

Zavareni spojevi su nerastavne veze. Svoju primjenu nalaze kod nosivih strojnih dijelova i konstrukcija te kod nepropusnih spojeva:

- spremnici tekućina, kotlovi i posude pod tlakom;
- spajanje elementa protoka plinova, para i tekućina;
- postolja strojeva, nosači i ukrutna rebra, konzole, cijevne konstrukcije;
- strojni elementi - prirubnice, zupčanici, remenice, nazuvice;
- nosive konstrukcije u graditeljstvu (krovovi, mostovi i nosači, dizalice).

Vrste zavarivanja

Zavarivanje je spajanje metalnih ili nemetalnih dijelova toplinskim postupkom taljenja ili omekšavanja na mjestu spoja uz ili bez dodavanja materijala.

Zavareni se spojevi temelje na kohezijskim silama u zavaru te je poslije zavarivanja zavareni spoj nerastavan. Prema nastanku kohezijskih sila u zavarenom spoju razlikuje se zavarivanje:

- toplinskom energijom (taljenjem osnovnih i dodatnog materijala, slika 9.18.) i
- pomoću mehaničke energije, toplo i hladno (pritiskanjem omekšanih materijala).

Materijali zavarenih spojeva

1. Zavarivi metali

Sivi lijev. Moguće je zavarivanje bez predgrijavanja elektroda na bazi nikla. Pri toplom zavarivanju dijelove treba zagrijati na 600 - 650 °C i postupno hladiti nakon zavarivanja. Zavaruje se plamenom ili lukom sa šipkama ili obloženim elektrodama iz sivog lijeva.

Čelici do približno 0,3 % ugljika. Na zavarljivost čelika najveći utjecaj ima postotak C, pa su čelici s većim sadržajem ugljika zavarljivi u određenim uvjetima.

Neželjezni metali: bakar, mqed, bronca, cink, aluminij.

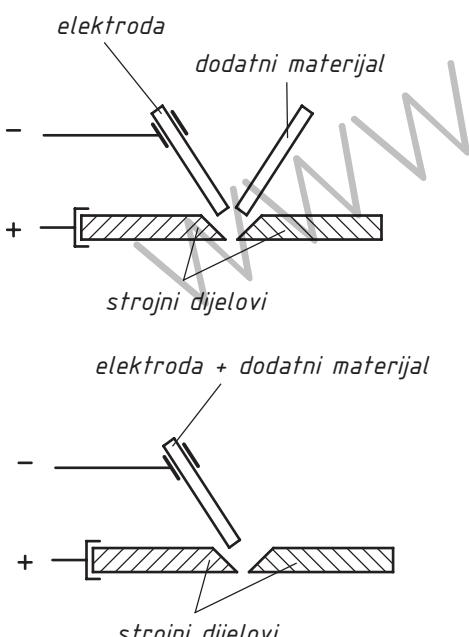
Laki metali: aluminij (Al), aluminijeve i magnezijeve (Mg) legure teže su zavarljivi jer se brzo hlađe i oksidiraju.

Teški metali: bakar (Cu), mqed (CuZn legure) i bronca (CuSn legure) su dobro zavarljivi.

2. Zavarivi nemetali

Termoplastični polimeri - termoplasti, dijelovi izrađeni iz termoplastičnih umjetnih masa (tvrdi i mekani polivinilkloridi).

Termoreaktivni polimeri - duroplasti se nakon proizvodnje ne daju toplinski oblikovati i zato su nezavarljivi.



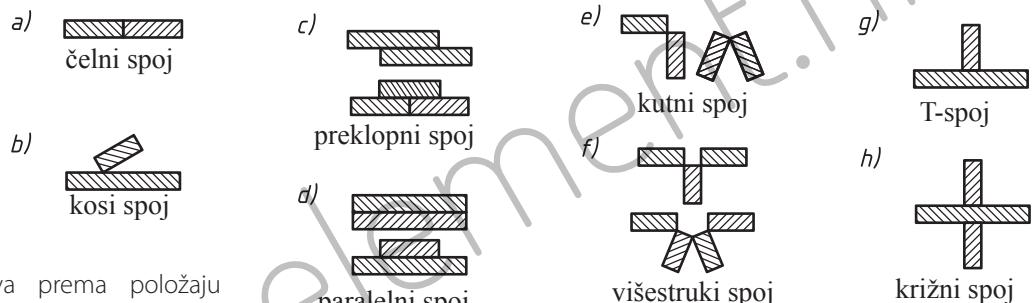
Slika 9.18.

Vrste zavarivanja prema dodatnom materijalu

Vrste zavara i zavarenih spojeva

Prema međusobnom položaju spojnih dijelova HRN EN 22553 (slika 9.19.) razlikujemo:

- čelni, kosi, preklopni, paralelni, kutni, višestruki, T-spoj i križni spoj.



Slika 9.19.

Vrste zavarenih spojeva prema položaju dijelova HRN EN22553

Tablica 9.4.

Vrste i oblici šavova za zavarivanje taljenjem HRN EN 2253 (profili zavara)

Prema obliku poprečnog presjeka zavara razlikujemo:

Naziv	Simbol	Priprema	Izvedba	Naziv	Simbol	Priprema	Izvedba
-------	--------	----------	---------	-------	--------	----------	---------

Tupi šavovi:

zarubljeni šav	J			dvostruki V - šav	X		
I - šav				K - šav	K		
V - šav	∨			dvostrani Y - šav	X		
1/2 V - šav	∨			K - šav s neprovarenim korijenom	K		
Y - šav	Y			dvostrani U - šav	X		
1/2 Y - šav	Y			dvostrani J - šav	X		
U - šav	U						
J - šav	J						

9.2.2. Karakteristike zavarenih spojeva

Zavarene konstrukcije u strojogradnji imaju prednost pred lijevanima ukoliko se radi o pojedinačnoj izvedbi. Oblik konstrukcije se nastoji prilagoditi opterećenju kako bi se povećala čvrstoća. Zavarene konstrukcije nezamjenjive su u kemijskoj industriji (gdje se koriste materijali postojani na višim i nižim temperaturama, s odgovarajućom čvrstoćom, žilavosti te otpornosti na koroziju), kod zavarivanja cjevovoda te u nuklearnoj tehnici.

Prednosti zavarenih spojeva su:

- nosivost zavarenih spojeva može biti približno jednaka nosivosti osnovnog materijala;
- u odnosu na lijevane, kovane i zakovične konstrukcije, zavarene konstrukcije imaju tanje stijenke i do 30 % manju težinu;
- za pojedinačnu proizvodnju zavareni su spojevi najekonomičniji.

Nedostaci zavarenih spojeva su:

- zavarivanjem se bez problema spajaju samo materijali koji imaju približno istu kvalitetu, sastav i koji su dobro zavarljivi;
- potrebna je odgovarajuća priprema spoja (oblikovanje i čišćenje od nečistoća i oksida);
- manja sposobnost prigušenja vibracija i manja otpornost prema koroziji.

9.2.3. Zavarivanje pritiskom

Zavarivanje pritiskom (HRN C.T3.001) je postupak kod kojeg se dijelovi koji se međusobno spajaju (zavaruju) lokalno zagrijavaju i međusobno pritiskuju.

Postupci su:

- elektrolučno zavarivanje pritiskom - toplina se stvara električnim lukom, a dijelovi se nakon toga zavaruju pritiskom;
- ultrazvučno zavarivanje pomoću mehaničkih titraja u području ultrazvuka;
- plinsko zavarivanje pritiskom pri kojem se zagrijavanje obavlja plamenikom na tekući plin i kisik, a nakon toga slijedi međusobno pritisakanje dijelova;
- elektrootporno zavarivanje pritiskom pri kojem toplina nastaje uslijed toka električne struje i prijelaznog otpora na dodirnim mjestima te omskog otpora spojenih dijelova (slika 9.20.).



a) uređaj za elektrootporno zavarivanje b) elektrode



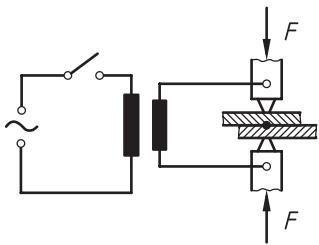
c) robot za elektrootporno zavarivanje

Slika 9.20.

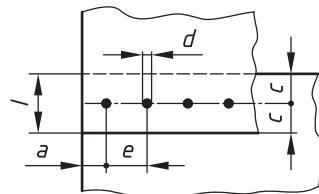
Elektrootporno zavarivanje pritiskom

Materijali u elektrootpornom zavarivanju pritiskom

Najbolje spojeve daju čelici redova Č 0260, Č 0360, Č 0460, Č 0480 i čelik Č 0563, a za zavarivanje iskrenjem i čelici za cementiranje.



Slika 9.21.
Shema uređaja za točkasto zavarivanje



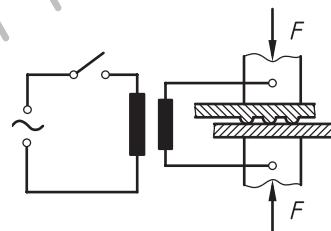
Slika 9.22.
Razmještaj točaka zavara

Točkasto zavareni spojevi

Kod elektrootpornog točkastog zavarenog spoja struja i sila prenose se elektrodama, pri čemu su površine spajanja pritisnute jedna na drugu i zavaruju se u obliku točaka (slika 9.21.).

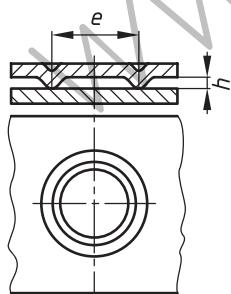
Uporaba: za luke konstrukcije iz lima i tanke dijelove.

Prema razmještaju točaka zavara, točkasti zavari mogu biti jednoredni, dvoredni (slika 9.22) i cik-cak zavari. Prema broju mesta naprezanja, spojevi mogu biti jednerezni i dvorezni (slika 9.23.).



Slika 9.24.
Shema uređaja za bradavičasto zavarivanje

Slika 9.23.
Opterećenje točkasto zavarenog spoja - jednerezni spoj



Slika 9.25.
Obljekovanje bradavica za zavarivanje
- prstenasta bradavica

Čvrstoča točkasto zavarenog spoja

Točkasti spojevi se proračunavaju na smik i na specifični pritisak.

Bradavičasto zavareni spojevi

Kod elektrootpornog bradavičastog zavarenog spoja struja i sila pritiska prenose se elektrodama, pri čemu se površine spajanja dodiruju na bradavicama jedna na drugu i zavaruju se u obliku točaka (slika 9.24.). Izbočine ili bradavice u zavarivanju djelomično se ili potpuno poravnavaju.

Uporaba: za tanke limove i oblikovane profile iz lima.

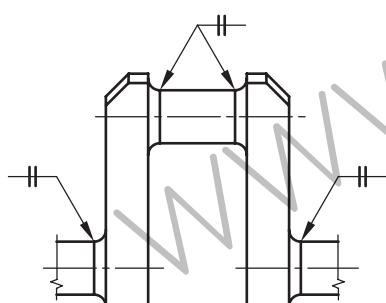
Promjer bradavice d , visina h i razmak e između bradavica ovise o debljinu dijelova s (slika 9.25.). Kod tankih limova djeluju ukrućujuće na lim.

Bradavice se oblikuju pri izradi strojnog dijela utiskivanjem (ako je razlika u volumenu dijelova velika, tada se bradavice oblikuju na dijelu s većim volumenom).

Spojevi zavareni elektrootporno - iskrenjem

Kroz dijelove koji se spajaju dodirom teče električna struja, pri čemu se oni zagrijavaju i izbacuju dijelove rastaljena metala (iskrenje) nakon čega se napravi spoj silom (pritiskom). Način spajanja je čelno.

Postupak se koristi onda kad omogućava uštedu materijala uz jednostavnije oblikovanje, npr. koljenasta vratila (slika 9.26.).



Slika 9.26.
Koljenasto vratilo zavareno elektrootpornim zavarivanjem