

MAŠINSKI ELEMENTI I

Definicija, podela i klasifikacija mašinskih elemenata

Tehnika i tehnologije imaju za cilj da čoveku, odnosno čovečanstvu, omoguće što bolje življenje, kako materijalno tako i duhovno. Stoga je imperativ racionalno korišćenje prirodnih resursa - materija i energija - posredstvom mašina, a na osnovu prirodnih zakona.

Mašina je, dakle, neizbežni pratilac savremenog čoveka. Čovek ju je i stvorio da mu služi i omogući lakše i bolje življenje.

Mašina u osnovi jeste kombinacija posebno oblikovanih čvrstih tela. Mašina obavlja određenu funkciju (opštu funkciju) u procesu iskorišćavanja i transformacije energije. Prema svojoj nameni razlikuju se dva osnovna tipa mašina: pogonske i radne.

Pogonske mašine imaju zadatak da sve vidove energije transformišu u mehaničku energiju sposobnu za koristan rad. Tako se, npr., električna i nuklearna energija, toplotna energija pare ili gasa, mehanička energija vode i druge, transformišu i omogućavaju obavljanje određenih funkcija (posredstvom motora sa unutrašnjim sagorevanjem, toplotne turbine, elektromotora, nuklearnog reaktora i drugih pogonskih mašina).

Radne mašine imaju zadatak da obavljaju namenjenu korisnu funkciju za čoveka (npr., pumpe, kompresori, ventilatori, mašine alatke, dizalice, mešalice, transportne i rudarske mašine, liftovi i dr). Mehaničku energiju pogonske mašine najčešće treba prilagoditi potrebama radne mašine, u smislu brzine i sile, odnosno momenta. Zato se kao posrednik između pogonske i radne mašine koristi **prenosnik snage**.

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

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

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

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

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

Svaka mašina, sastavljena je od manjeg ili većeg broja delova, podsklopova ili sklopova. Oni zajedno čine jednu celinu. Imaju zajednički zadatak da obave određenu funkciju – opštu funkciju **systema**.

Opšta funkcija sistema ostvaruje se usklađenim (sinhronizovanim) izvršavanjem niza **parcijalnih funkcija**. Parcijalne funkcije čine skup **elementarnih funkcija**.

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

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

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

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

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

KONSTRUISANJE

Definicija

Konstruisanje je kreativni proces koji se odvija po uzastopnim etapama pri čemu se polazi od ideje a na kraju se dobija konstrukciono tehnološka dokumentacija za proizvodnju mašinskog sistema. To je proces transformacije ideje u projekat kao osnove za proizvodnju. Cilj konstruisanja je da za tehničke probleme nalazi optimalna rešenja, odnosno da ispuni sve zahteve vezane za proizvodnju, eksploataciju i reciklažu, a da pri tome mašinski sistem (proizvod, konstrukcija) bude konkurentan na tržištu.

Optimalna proizvodnja mašinskog sistema obezbeđena je ukoliko su svi njegovi delovi tako oblikovani, da sa minimalnom cenom i za minimalno vreme mogu biti izrađeni i ugrađeni. Za obezbeđenje kvaliteta kod velikih serija neophodna je i odgovarajuća kontrola mera i funkcionalnosti delova.

Optimalno funkcionisanje mašinskog sistema obezbeđeno je ukoliko on uspešno ispunjava predviđenu funkciju za zadate uslove eksploatacije, uz minimalni utrošak energije i minimalna opterećenja vezana za razne vrste otpora (vazduh, voda, otpori trenja, itd.).

Po završenom radnom veku proizvod se izbacuje iz upotrebe. U tom smislu optimalna reciklaža sastoji se u minimalnim troškovima vezanim za preradu i ponovnu upotrebu sastavnih delova sistema.

Proces razvoja novih proizvoda

Nastajanje novih proizvoda šematski po fazama može da se predstavi prema VDI 2222 (sl.1). Ovaj proces može da se podeli u četiri faze **planiranje-koncipiranje-načrt-razrada**.

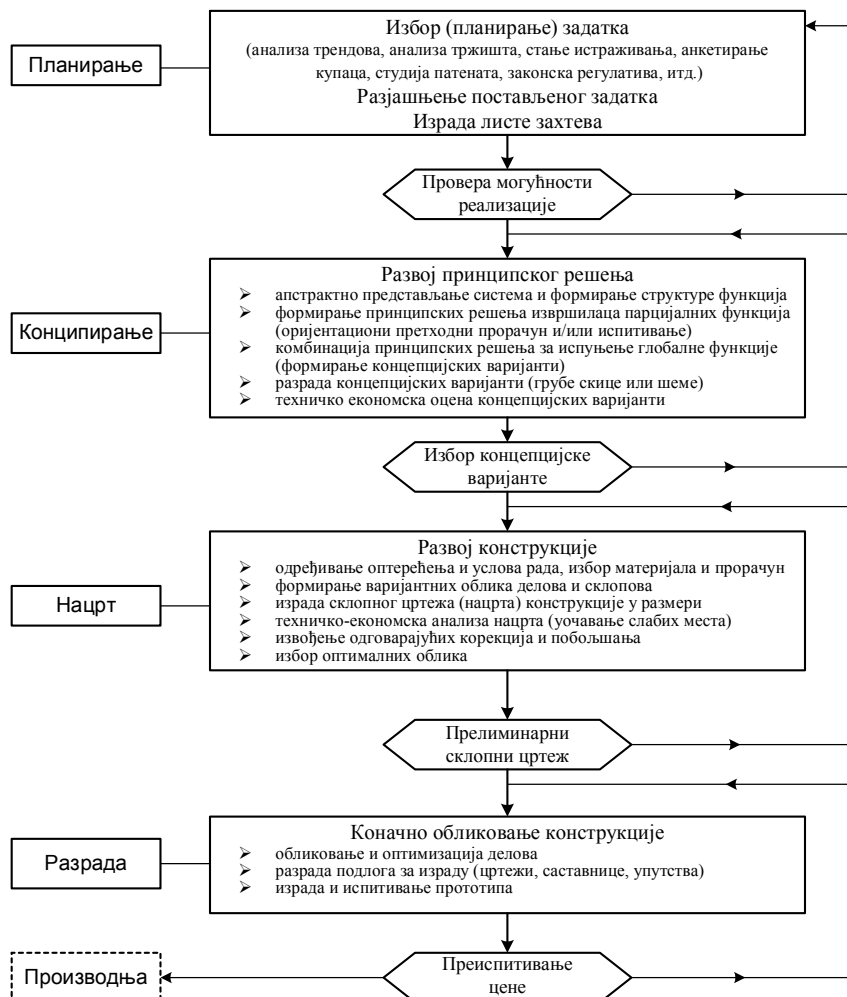
Da bi se došlo do optimalnog rešenja, vrlo je važno da na samom početku procesa razvoja i konstruisanja bude razjašnjen i precizno postavljen konstrukcioni zadatak i po mogućnosti sveobuhvatno analiziran. Kao rezultat ove faze dobija se lista zahteva koje mašinski sistem treba da ispuni. Zahtevi mogu biti veoma različiti, te ih po prioritetu treba razvrstati na zahteve koji moraju biti obavezno ispunjeni, zahteve koji minimalno moraju biti ispunjeni i na željene zahteve. U tablici 11.1 prikazana je kontrolna lista koja može da posluži za izradu liste zahteva. Tek posle provere mogućnosti realizacije odnosno dobijanja radnog naloga (prva ključna tačka), sledi sam proces konstruisanja.

Druga faza je koncipiranje idejnog rešenja. Formiranjem strukture funkcija, deniveliše se opšta (globalna) funkcija na parcijalne i elementarne funkcije. Ove funkcije uglavnom se svode na transformaciju energije (sile, momenti, kretanje), prenošenje energije, itd. Za definisanje izvršilaca elementarnih funkcija polazi se od matematičkog opisa navedene transformacije. Transformacija se može ostvariti na osnovu mehaničkog principa, hidrauličkog principa, pneumatskog, električnog, magnetnog, termičkog, hemijskog, itd. principa. Najčešće je u primeni mehanički princip koji se bazira na osnovnim fizičkim zakonima. Kombinacijom pojedinih principskih rešenja dobija se veći broj koncepcionih varijanti. Ocenom ovih varijanti sa tehno-ekonomskog aspekta bira se optimalna varijanta (druga ključna tačka).

Treća faza je faza načrta odnosno razvoja konstrukcije u kojoj se definišu izvršioци principskih rešenja. Ona obuhvata proračun, gde se najpre definišu polazne dimenzije a zatim i oblik dela. Bira se materijal i postupak izrade i utvrđuju osnovne dimenzije dela. U ovoj fazi pored kreativnosti neophodno je izvršiti veći broj iteracionih koraka, čime se uvek ide ka višem nivou u pogledu definisanja konstrukcionog rešenja. Ovo je jako komplikovana faza jer zahteva kombinaciju proračuna i definisanje oblika i često više puta ponavljanje istih koraka uz odgovarajuće izmene. Kao rezultat ove faze dobija se preliminarni sklopni crtež, što je treća ključna tačka procesa razvoja i konstruisanja mašinskog sistema.

Četvrta faza je faza razrade odnosno konačnog oblikovanja konstrukcije. To znači ne samo izradu sklopnog crteža na osnovu početnih načrta, već i optimizaciju oblika delova, izradu sastavnice i uputstava kao i razradu podloga za izradu kao i samu izradu prototipa. Izlaz iz ove faze je konačno određivanje i preispitivanje cene proizvoda, odnosno konstrukcije, što je četvrta ključna tačka procesa razvoja i konstruisanja. Iza toga se ili ide u proizvodnju ili u ponovno preispitivanje konstrukcije.

Mašinski elementi kao izvršioци elementarnih funkcija razmatraju se u trećoj i četvrtoj fazi procesa razvoja proizvoda. Ugradnjom standardnih opštih mašinskih elemenata dobija se racionalnija i pouzdanija konstrukcija, a u isto vreme pojednostavljuje proces konstruisanja. Ukoliko se pak u konstrukciju ugrađuju izvršioци elementarnih funkcija, čiji razvoj sledi u samoj fazi konstruisanja, dobija se skuplja konstrukcija a sam proces konstruisanja je složeniji i duži.



Sl.1. Ciklus postupaka kod razvoja novog proizvoda

STANDARDNI BROJEVI I TOLERANCIJE

Standardizacija

Već na početku razvoja mašinske tehnike pojavila se potreba za donošenjem jedinstvenih propisa kojima bi se ograničio broj različitih oblika i dimenzija pojedinih delova sa istom funkcijom, a isto tako utvrdio sastav, kvalitet i druge karakteristike mašinskih materijala. Proces pripreme, donošenja, usvajanja i praktične primene ovih propisa naziva se **standardizacija**, a sami propisi nazivaju se **standardi**.

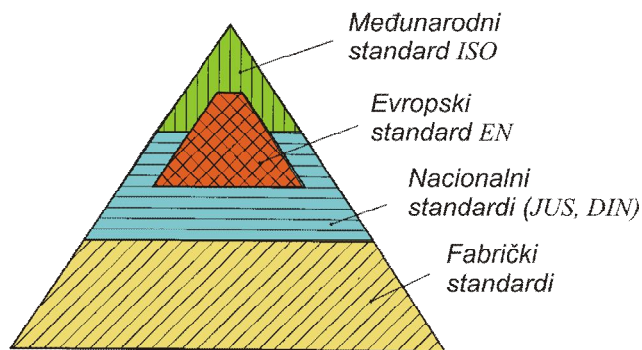
Standardizacija u mašinstvu omogućuje masovnu i ekonomičnu primenu velikog broja istih delova. Delovi se proizvode na različitim mestima, a sklapaju opet na nekom trećem mestu. Standardizacija olakšava posao konstruktoru, jer često svodi njegov posao na odabiranje najpogodnijeg dela. Standardizacija koristi i potrošaču jer olakšava nabavku delova tačno određenih dimenzija, oblika i kvaliteta. Prema tome standardizacija pored uštede vremena i materijala obezbeđuje veću sigurnost, jer su propisi obuhvaćeni standardima prethodno svestrano teorijski i eksperimentalno ispitani.

Standardizacija se u mašinstvu najpre počela razvijati u okviru preduzeća, da bi razvojem tehnike najpre dobila nacionalni, a zatim i internacionalni značaj. Danas sve industrijski razvijene zemlje imaju svoje komisije za standardizaciju, koje sastavljaju predloge standarda, posle čijeg usvajanja su ovi standardi obavezni za celu privredu dotične zemlje.

U cilju da standardi imaju širu međunarodnu osnovu osnovana je 1926. godine međunarodna organizacija *ISA* (International Federation of the National Standardising Associations). Oktobra 1946. promenjen je naziv ove organizacije u *ISO* (International Standardising Organisation), i pod tim nazivom ova organizacija i dalje radi. Ovom organizacijom upravlja generalni sekretarijat čije je sedište u Ženevi. Naša zemlja je član ove organizacije. Pri donošenju odluka u okviru *ISO* svaka zemlja član ima samo jedan glas.

Pored međunarodne organizacije za standardizaciju, postoji i evropski komitet za standardizaciju - *CEN* (Comité Européen de Normalisation) kao institucija za standardizaciju evropske ekonomske zajednice (*EG*). Pri donošenju odluka u *CEN* težina glasa svakog člana zavisi od stepena razvijenosti privrede zemlje.

Donošenje standarda teče sledećim redosledom. Usklađivanjem izvesnog broja internih standarda, donose se nacionalni standardi, a usklađivanjem nacionalnih standarda donose se evropski standardi (EN), odnosno međunarodni standardi (*ISO*). Na sl. 2 prikazana je piramida standarda različitih nivoa.



Sl. 2. Proses donošenja standarda

Standardni brojevi

Standardni brojevi predstavljaju izbor brojeva koji se koriste za merne veličine u mašinstvu. Primenom standardnih brojeva se pri tipizaciji mašina i uređaja ograničava broj mogućih izvođenja u pogledu veličine, snage, obrtnog momenta, brojeva obrtaja, protoka, itd. Na taj način ograničava se i broj mogućih alata za proizvodnju sastavnih delova, što dovodi do racionalnije proizvodnje.

Za standardne brojeve usvojene su zaokružene vrednosti članova geometrijskih redova:

R5 sa količnikom $q = \sqrt[5]{10} \cong 1,6$

R10 sa količnikom $q = \sqrt[10]{10} \cong 1,25$

R20 sa količnikom $q = \sqrt[20]{10} \cong 1,12$

R40 sa količnikom $q = \sqrt[40]{10} \cong 1,06$

Izuzetno se može koristiti i red **R80** sa količnikom $q = \sqrt[80]{10} \cong 1,03$.

Standardni brojevi omogućavaju standardizaciju veličina uvek po istom sistemu. U primeni su i standardni brojevi čije su vrednosti zaokružene na prvu približnu vrednost. Redovi ovih brojeva označavaju se **R'**. Vrednosti članova osnovnih redova **R** i zaokruženih **R'**, date su u tablici P13-1. Kreću se u granicama 1 do 10. Množenjem ovih vrednosti sa 0,01, 0,1, 1, 10, 100, 1000,.... dobijaju se željene aplikativne vrednosti.

TOLERANCIJE MERA, OBLIKA, POLOŽAJA I KVALITETA POVRŠINA

Cilj propisivanja tolerancija

Jedan od osnovnih uslova da se proizvod održi što duže na tržištu i bude konkurentan jeste nivo kvaliteta. U tom smislu, svaki proizvod mora da ima zahtevani kvalitet.

Važne komponente kvaliteta proizvoda – mašinskih proizvoda su tačnost dimenzija, oblika i položaja i kvalitet površina. Za njihovo ispravno funkcionisanje, apsolutna tačnost mera, oblika, položaja i kvaliteta površina, ne samo da nije neophodna, nego je i neostvariva. Granice kvaliteta, u pogledu tačnosti, definisane su **funkcionalnim i ekonomskim ograničenjima**. Na osnovu ovih ograničenja propisuju se granice – **tolerancije** u kojima treba da budu dimenzije, oblici i položaji i kvalitet površina mašinskih delova.

Prema tome, **tolerancije su unapred propisana dozvoljena odstupanja: dužinskih mera, oblika, položaja i kvaliteta hrapavosti obrađenih površina od nazivne veličine – mere (SI.2).**



Slika 2. Podela tolerancija

Da bi se izbegla proizvoljnost u pogledu izbora (propisivanja) tolerancija koriste se međunarodni (ISO), odnosno nacionalni standardi.

Srpski standardi o tolerancijama dužinskih mera (SRPS ISO 286-1 i SRPS ISO 286-2:1992) utvrđeni su na osnovu potpunog usvajanja ISO standarda.

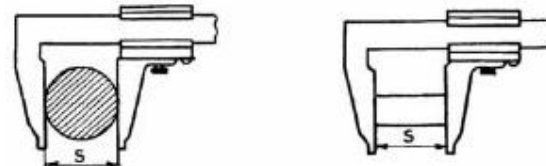
Vrste dužinskih mera

Dužinska mera je fizička veličina. Njena vrednost se izražava jedinicom dužine. Zavisno od načina merenja (utvrđivanja stvarne mere) dužinske mere se mogu svrstati u tri grupe mera: **spoljašnje, unutrašnje i neodređene.**

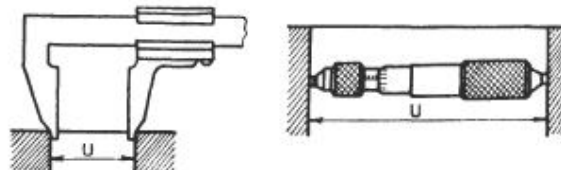
Spoljašnja mera je dužinska veličina kod koje su, pri merenju, dodirne površine mernih pipaka alata izvan merene dužine (SI.3).

Unutrašnja mera je dužinska veličina kod koje su, pri merenju, dodirne površine mernih pipaka alata unutar merene dužine (SI.4).

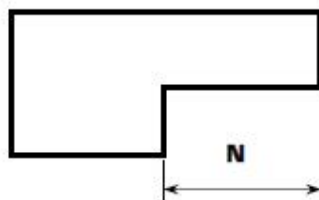
Neodređena mera je dužinska veličina koja se ne može svrstati ni u grupu unutrašnjih mera ni u grupu spoljašnjih mera (SI.5).



Slika 3. Spoljašnja mera



Slika 4. Unutrašnja mera



Slika 5. Neodređena mera

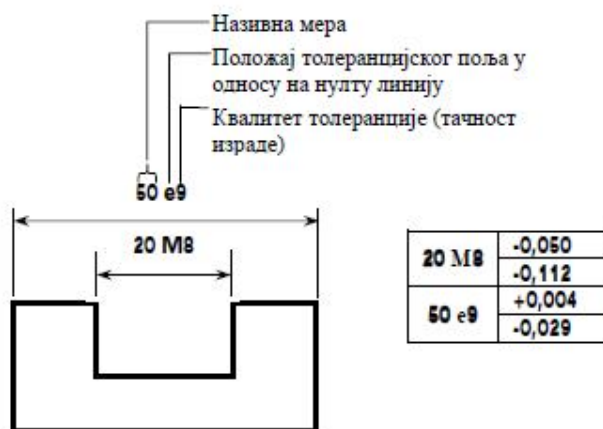
Dužinske mere se dele na **tolerisane** i **slobodne**.

Tolerisana mera je dužinska veličina od čije tačnosti izrade zavisi funkcija mašinskog dela ili sklopa. Njena dozvoljena odstupanja unose se direktno na crtež za svaku kotu ponaosob.

Slobodna mera je dužinska veličina koja nema posebnog značaja na funkciju i/ili montažu mašinskog dela. Na crtežu se upisuju samo njihove nazivne vrednosti, a u napomeni se navode stepeni željene tačnosti izrade.

Označavanje tolerancija

Na tehničkoj dokumentaciji tolerancije dužinskih mera se mogu prikazati na dva načina: slovnim i broječanim oznakama (Sl.6) ili samo broječanim oznakama (Sl.7).



Slika 6. Kombinovano (slovno i numeričko) prikazivanje tolerancija na crtežu



Slika 7. Numeričko prikazivanje tolerancija na crtežu

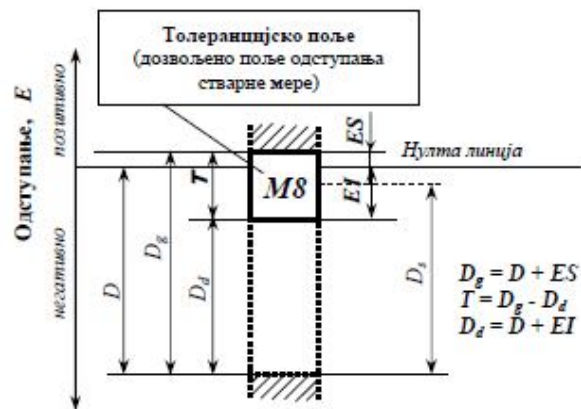
U praksi je više zastupljen prvi način prikazan na slici 6. Kod ovog načina, brojčane vrednosti odstupanja prikazuju se na crtežu u vidu tablica. Na ovaj način, crtež je rasterećen od velikog broja numeričkih vrednosti. Time se postiže veća jasnoća crteža i smanjuje verovatnoća pojave slučajne greške pri očitavanju numeričkih vrednosti.

Osnovne veličine tolerancija dužinskih mera

Grafički prikaz tolerancija dužinskih mera je na slici 8 – za spoljašnje mere, a na slici 9 – za unutrašnje mere.



Slika 8.



Slika 9.

Nazivna mera (d i D) je mera od koje se mere odstupanja i koja se unosi na tehničku dokumentaciju. Ona može, a ne mora biti i željena mera. Ako je nazivna mera unutar tolerancijskog polja, ona je i željena mera. U suprotnom, nije.

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

Granične mere su dve propisane mere između kojih mora biti stvarna mera ispravno izrađenog dela.

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

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

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

Odstupanje (E , e) je algebarska razlika između neke određene mere i nazivne mere.

Gornje odstupanje (ES , es) je algebarska razlika između gornje granične i nazivne mere.

Donje odstupanje (EI , ei) je algebarska razlika između donje granične i nazivne mere.

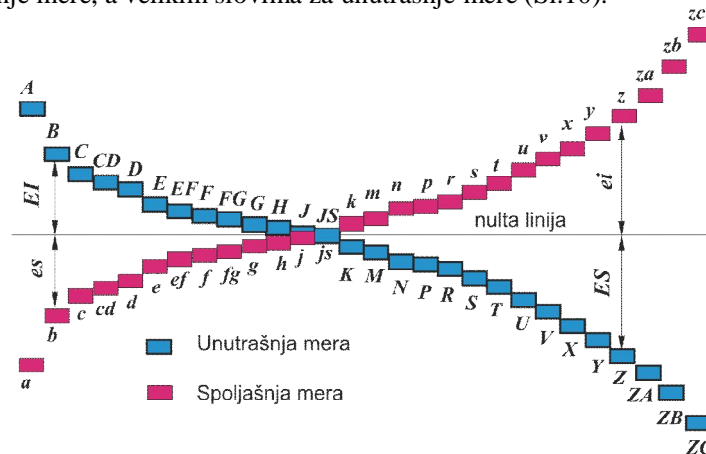
Stvarno odstupanje je algebarska razlika između stvarne mere i nazivne mere.

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

Tolerancijsko polje je oblast pravougaonog oblika ograničena po visini graničnim merama. Širina je proizvoljna.

Položaj tolerancijskih polja

Položaj tolerancijskih polja u odnosu na nultu liniju, određen je slovima abecede, i to – malim slovima za spoljašnje mere, a velikim slovima za unutrašnje mere (Sl.10).



Slika 10. Položaj tolerancijskih polja

Kvantitativni položaj tolerancijskog polja određen je veličinom gornjeg i donjeg odstupanja. Veličine ovih odstupanja za različita tolerancijska polja, nazivne mere i kvalitete tolerancija propisane su standardom i prikazane su u tabelama 1 i 2.

Tabela 1.

Nazivne mere, mm		m							n						
iznad	do	3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9
-	3	+4 -2	+5 +2	+6 -2	+8 +2	+12 -2	+16 +2	+27 -2	+6 +4	+7 +4	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+18 +4	+29 -4
3	6	+6,5 +4	+8 +4	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+22 +4	+34 +4	+10,5 +8	+12 +8	+13 +8	+16 +8	+20 +8	+26 +8	+38 +8
6	10	+8,5 -6	+10 +6	+12 -6	+15 +6	+21 -6	+28 +6	+42 -6	+12,5 +10	+14 +10	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+32 +10	+46 +10
10	18	+10 +7	+12 +7	+15 +7	+18 +7	+25 +7	+34 +7	+50 +7	+15 +12	+17 +12	+20 +12	+23 +12	+30 +12	+39 +12	+55 +12
18	30	+12 -8	+14 +8	+17 -8	+21 +8	+29 -8	+41 +8	+60 -8	+19 +15	+21 +15	+24 +15	+28 +15	+36 +15	+48 +15	+67 +15
30	50	+13 -9	+16 +9	+20 -9	+25 +9	+34 -9	+48 +9	+71 -9	+21 +17	+24 +17	+28 +17	+33 +17	+42 +17	+56 +17	+79 +17

Tabela 2.

Називне мере изнад... до mm	G7	F7	H8	H11	F8	E9	D10	C11	H11	D11	C11	A11
...												
30...40	+ 34	+ 50	+ 39	+ 160	+ 64	+ 112	+ 180	+ 280 + 120	+ 160	+ 240	+ 280 + 120	+ 470 + 310
40...50	+ 9	+ 25	0	0	+ 25	+ 50	+ 80	+ 290 + 130	0	+ 80	+ 290 + 130	+ 480 + 320
...												

Visina tolerancijskog polja zavisi od kvaliteta tolerancije i nazivne mere (Tabela 3).

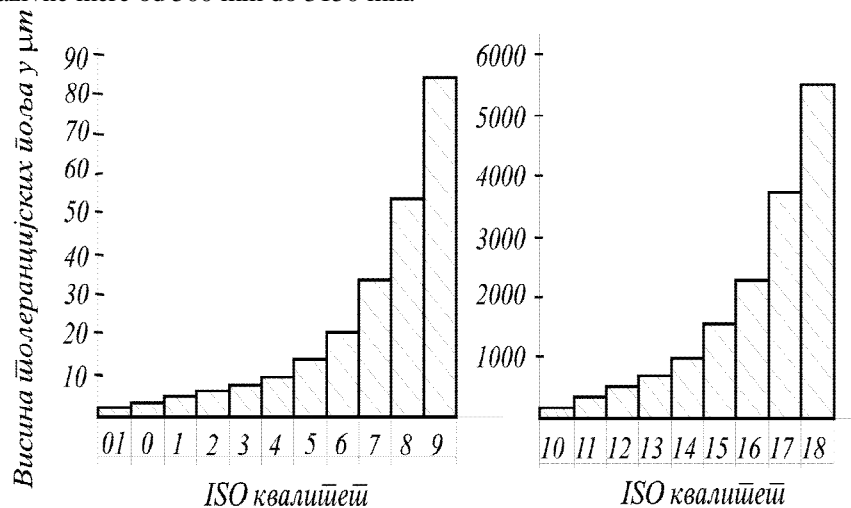
Tabela 3.

Ознака толеранције	Подручје називних мера у mm												
	до 3	и з н а д											
		3 до 6	6 до 10	10 до 18	18 до 30	30 до 50	50 до 80	80 до 120	120 до 180	180 до 250	250 до 315	315 до 400	400 до 500
...													
IT 5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT 6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT 7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT 8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT 9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT 10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT 11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT 12	100	120	150	180	210	250	300	250	400	460	520	570	630
...													

Kvalitet tolerancije predstavlja odgovarajući (željeni) stepen tačnosti izrade mašinskih delova. Označava se brojevima od 01 do 18, za područje nazivnih mera do 500 mm. Brojevima od 6 do 16 označava se kvalitet tolerancije za područje nazivnih mera od 500 do 3150 mm. Što je brojana vrednost kvaliteta tolerancije manja, to je manja visina tolerancijskog polja (finiji kvalitet tolerancija) i obrnuto (Sl.11a,b).

Nazivna mera označava se brojčanim vrednostima izraženim u milimetrima. Oblast mera od 0 do 3150 mm, ISO sistem tolerancija dužinskih mera je podelio u dve oblasti nazivnih mera i to:

- nazivne mere do 500 mm, pri čemu mere manje od 18 mm spadaju u preciznu mehaniku, i
- nazivne mere od 500 mm do 3150 mm.



Slika 11 Kvalitativna zavisnost visina tolerancijskih polja od kvaliteta tolerancije za istu nazivnu meru

Oblast nazivnih mera do 500 mm je podeljena na 13 područja (Sl.12a). Oblast iznad 500 do 3150 mm podeljena je na 8 područja nazivnih mera. Za isti kvalitet tolerancije, nazivnim merama koje pripadaju jednom području, odgovara ista visina tolerancijskog polja (Sl.12a).

Vrednosti tolerancija (visine tolerancijskih polja) zavise od kvaliteta tolerancija i nazivnih mera, prikazane su u tabeli 3.

Tolerancije slobodnih mera

Odstupanja dužinskih mera koje nisu u sprezi sa površinama drugih delova ili se od njih ne zahteva posebna tačnost ne propisuju se na crtežima. To su **slobodne mere** i one ne mogu imati odstupanja bez ograničenja. Za ove mere tolerancije se podrazumevaju i one moraju biti u granicama propisanim za odgovarajući postupak izrade. Prema ISO 2768-1 postoje četiri klase tolerancija ovih mera *f* (fina), *m* (srednja), *c* (gruba) *v* (vrlo gruba).

ISO-sistem naleganja dužinskih mera

Naleganje je odnos delova istih nazivnih mera od kojih je jedna spoljašnja, a druga unutrašnja. Zavisno od stvarnih mera oba dela pre sklapanja, naleganja mogu biti labava, čvrsta i neizvesna. Oznaka naleganja sadrži nazivnu meru, tolerancijsko polje i kvalitet tolerancija unutrašnje i spoljašnje mere, na primer $\varnothing 60 H7/f6$.

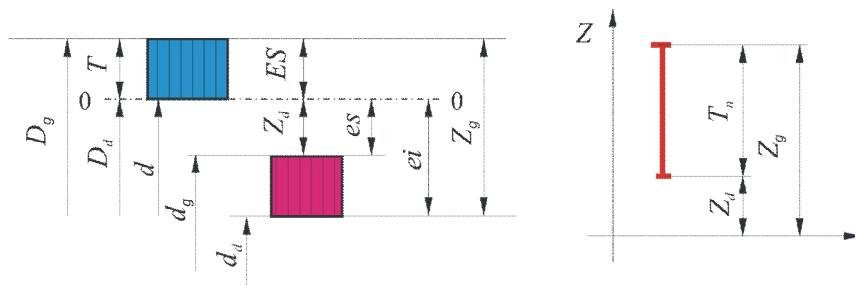
Zazor (*Z*) je razlika između stvarne mere otvora i stvarne mere osovine, ukoliko je stvarna mera otvora veća od stvarne mere osovine, odnosno:

$$Z = D_s - d_s \geq 0 \quad (1)$$

Preklop (*P*) je razlika između stvarne mere otvora i stvarne mere osovine, ukoliko je stvarna mera otvora manja od stvarne mere osovine, odnosno

$$P = D_s - d_s < 0 \quad (2)$$

Labavo naleganje ostvaruje se između delova između kojih uvek postoji zazor (sl. 12) i koji se kreće između najveće vrednosti (najveći zazor)



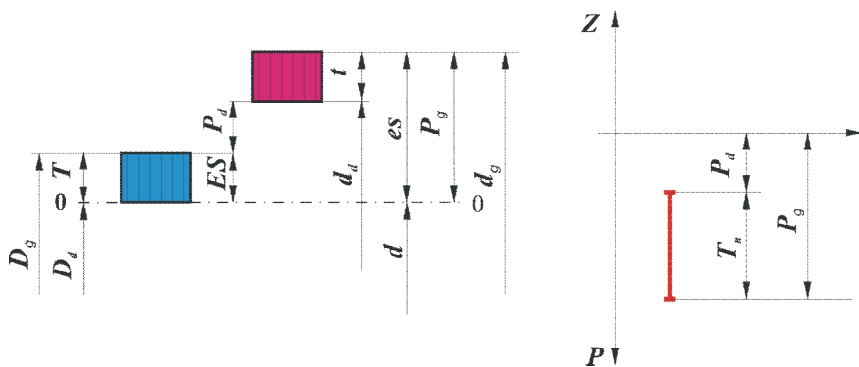
Slika 12. Labavo naleganje

$$Z_g = D_g - d_d = ES - ei \quad (3)$$

i najmanje vrednosti (najmanji zazor)

$$Z_d = D_d - d_g = EI - es \quad (4)$$

Čvrsto naleganje ostvaruje se nasilnim utiskivanjem osovine u otvor, odnosno između sklopljenih delova uvek postoji preklop (sl. 13).



Slika 13. Čvrsto naleganje

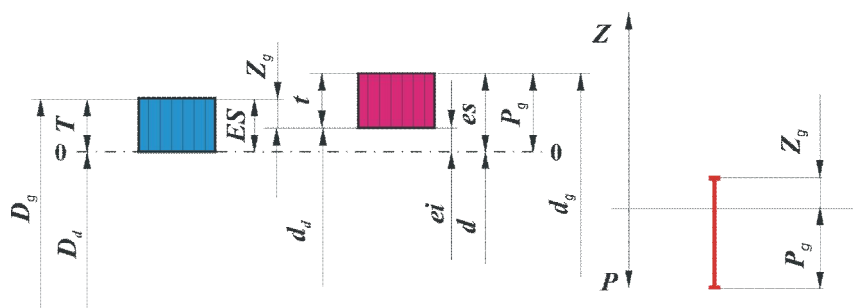
Prečnik osovine je uvek veći od prečnika otvora, tako da preklop varira između najveće vrednosti (najveći preklop)

$$P_g = D_d - d_g = EI - es \quad (5)$$

i najmanje vrednosti (najmanji preklop)

$$P_d = D_g - d_d = ES - ei \quad (6)$$

Kod **neizvesnog naleganja** (sl. 14) granične mere osovine i dela sa otvorom su tako izabrane da različite kombinacije stvarnih mera mogu dati zazor ili preklop. Mogući najveći zazor određuje se prema (3), a mogući najveći preklop prema (5).



Slika 14. Neizvesno naleganje sa tolerancijama

S obzirom da su najučestaniji srednji prečnici delova to je i najveća verovatnoća da naleganja u stvarnosti imaju srednje vrednosti zazora i preklopa:

$$Z_{sr} = \frac{Z_g + Z_d}{2}; \quad P_{sr} = \frac{P_g + P_d}{2} \quad (7)$$

Tolerancija naleganja (sl. 13.7) je veličina dozvoljenog kolebanja zazora odnosno preklopa. Jednaka je zbiru tolerancija spoljašnje i unutrašnje mere:

$$T_n = T + t \quad (8)$$

Može da se odredi i kao:

$$T_n = |Z_g| - |Z_d| = T + t \quad \text{- labavo naleganje,} \quad (9)$$

$$T_n = |P_g| - |P_d| = T + t \quad \text{- čvrsto naleganje,} \quad (10)$$

$$T_n = |Z_g| + |P_g| = T + t \quad \text{- neizvesno naleganje.} \quad (11)$$

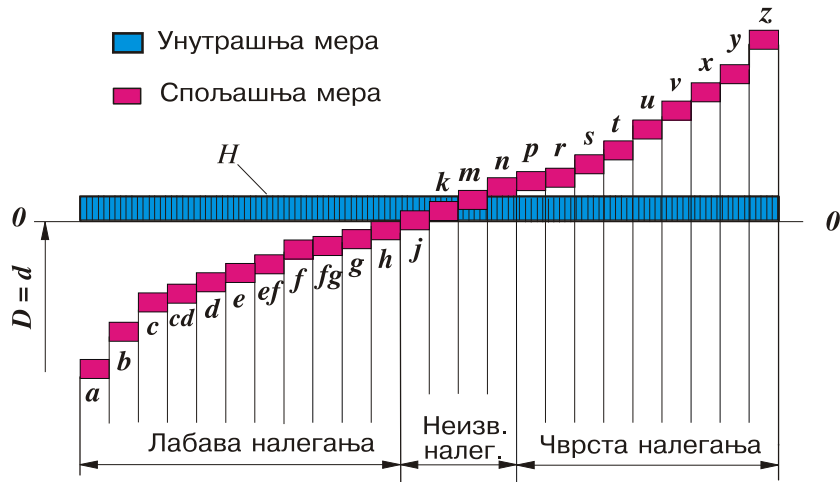
Sistemi naleganja su sistematski nizovi naleganja nastali kombinacijom odgovarajućih tolerancijskih polja osovina i dela sa otvorom. Postoji sistem zajedničke unutrašnje i sistem zajedničke spoljašnje mere.

Kod sistema zajedničke tolerancije unutrašnje mere (SZUM) prečnici otvora izrađeni su u tolerancijskom polju H , tako da se željeno naleganje dobija varijacijom položaja tolerancijskog polja osovine (sl. 15).

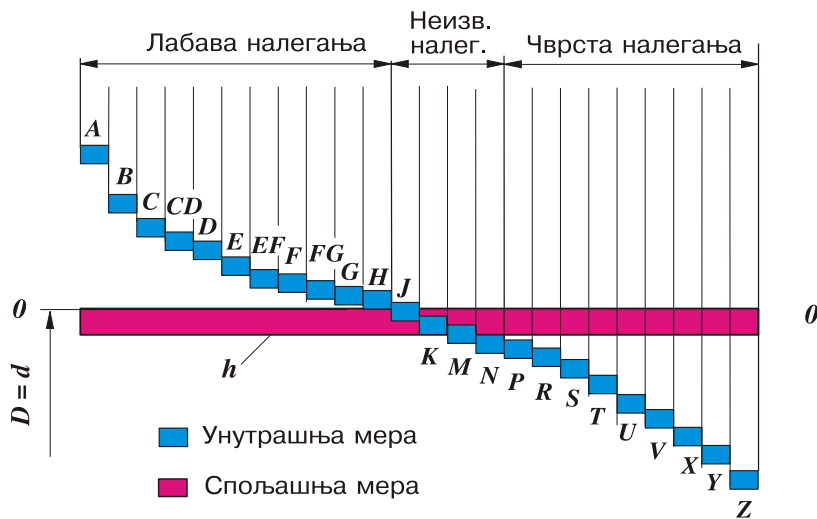
Kod sistema zajedničke tolerancije spoljašnje mere (SZSM) prečnici osovina izrađeni su u tolerancijskom polju h , tako da se željeno naleganje dobija varijacijom položaja tolerancijskog polja dela sa otvorom (sl. 16).

Pošto je precizna izrada otvora komplikovanija od izade osovina, to sistem zajedničke unutrašnje mere ima veću praktičnu primenu.

Familije naleganja su nizovi naleganja u jednom od sistema, gde jedan od delova naleganja ima toleranciju uvek u istom tolerancijskom polju i istom kvalitetu, dok drugi ima tolerancije u drugim poljima i drugim kvalitetima. U okviru SZUM to su $H6, H7, H8, H9, H11, H12, H13$, a u okviru SZSM to su $h5, h6, h8, h9, h11, h12, h13$.



Slika 15. Sistem zajedničke tolerancije unutrašnje mere



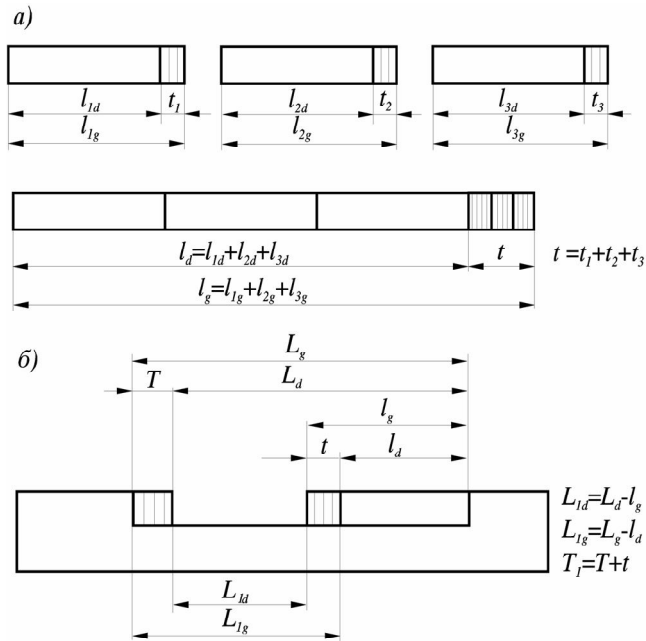
Slika 16. Sistem zajedničke tolerancije spoljašnje mere

Označavanje naleganja

Oznaka naleganja se sastoji od nazivne mere, slovne oznake položaja tolerancijskih polja za unutrašnju i spoljašnju meru i, brojčane oznake kvaliteta tolerancije. Da bi oznaka bila pregledna, podaci o unutrašnjoj i spoljašnjoj meri su odvojeni kosom ili horizontalnom crtom. Posle nazivne mere navode se podaci o unutrašnjoj meri. $\varnothing 70 H7/n6$; $\varnothing 70 F6/x6$; $\varnothing 70 H6/j5$.

Složene tolerancije

Mera dobijena kombinacijom više pojedinačnih mera naziva se složena mera, a njene tolerancije nazivaju se **složene tolerancije**. Složena tolerancija jednaka je zbiru tolerancija pojedinačnih mera (sl. 17).

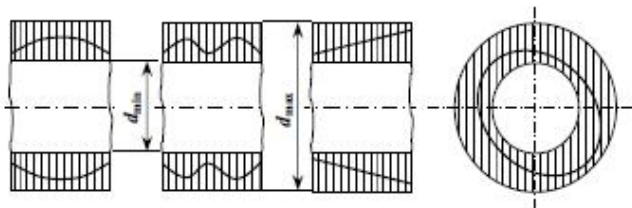


Sl. 17. Složene tolerancije: a) zbir dužinskih mera; b) razlika dužinskih mera.

TOLERANCIJE OBLIKA I POLOŽAJA

Pored odstupanja dužinskih mera na ispravno funkcionisanje mašinskih delova bitnu ulogu ima i odstupanje njihovog oblika. Tolerancije oblika i položaja su znatno složenije i komplikovanije u odnosu na tolerancije dužinskih mera. Zbog toga su i propisi u ovom delu manje precizni i jednoznačni sa većom slobodom izbora od strane korisnika.

Slično definisanom tolerancijskom polju kod tolerancije dužinskih mera, kod tolerancije oblika može se definisati tolerancijski prostor. To je prostor koji leži između kontura koje bi imali predmeti izrađeni sa gornjim i donjim graničnim merama. Ispravno izrađeni predmet mora ležati unutar ovog prostora (slika 18).



Slika 18. Primeri odstupanja geometrijskih oblika – stvarne konture leže u tolerancijskom prostoru

Kada na crtežu nisu propisane tolerancije oblika i položaja, odgovarajuća odstupanja tada ne smeju izlaziti izvan tolerancijskog prostora određenog tolerancijama dužinskih mera.

Ako, pak, uslovi funkcije i/ili montaže zahtevaju veću tačnost oblika i položaja nego što je tačnost koja se podrazumeva tolerancijama dužinskih mera, tada je potrebno propisati tolerancije oblika i položaja. Standardom je propisan način unošenja i označavanja tolerancija oblika i položaja na crtežima

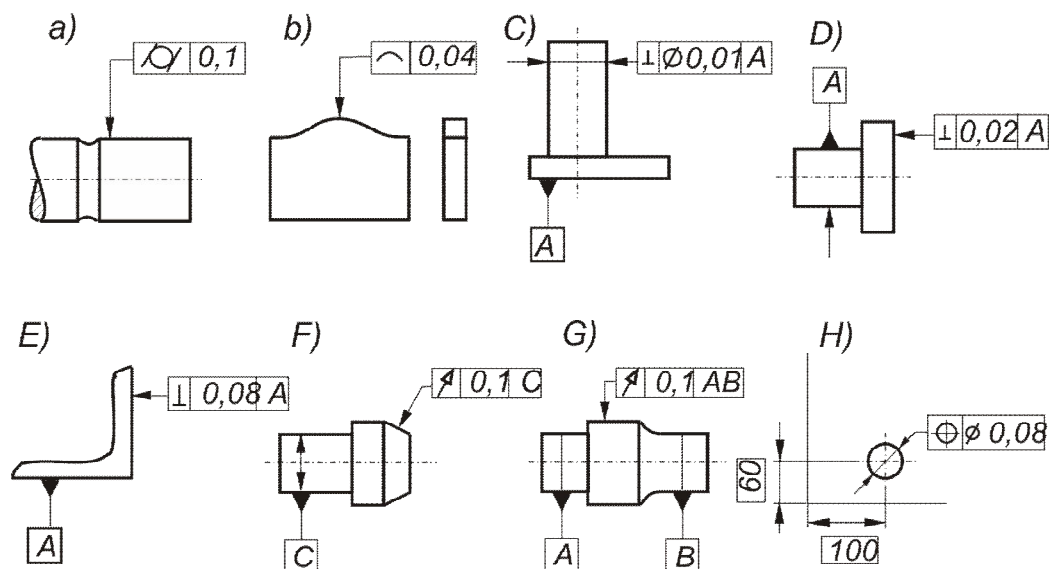
Odstupanja oblika mogu biti:

- odstupanje od prave (pravost – oznaka —),
- odstupanje od kruga (kružnost – oznaka \bigcirc),
- odstupanje oblika bilo kog profila (oblik linije - oznaka \frown),
- odstupanje od ravni (ravnost - oznaka \square),
- odstupanje od cilindra (cilindričnost - oznaka \odot),
- odstupanje oblika bilo koje površine (oblik površine – oznaka \bigcap).

Tolerancije položaja predstavljaju proširenje tolerancija oblika. Proširenje se odnosi na referentnu osnovu u odnosu na koju se definiše položaj tolerancijskog prostora. Tolerancije položaja mogu biti:

- po pravcu (tolerancije orijentacije):
 - odstupanje paralelnosti (paralelnost – oznaka \parallel),
 - odstupanje upravnosti (upravnost - oznaka \perp),
 - odstupanje ugla nagiba (ugaonost - oznaka \sphericalangle),
- po mestu (tolerancije lokacije):
 - odstupanje lokacije pojedinih osa i površina (pozicija - \oplus),
 - odstupanje centričnosti i aksijalnosti (koaksijalnost - \odot),
 - odstupanje simetričnosti (simetričnost - \equiv),
- po položaju obrtnih površina (tolerancije bacanja):
 - radijalno bacanje (oznaka - \nearrow),
 - aksijalno bacanje (oznaka - \nwarrow),
 - ukupno bacanje (radijalno i aksijalno - oznaka $\nearrow\nwarrow$).

Primeri označavanja tolerancija oblika i položaja dati su na sl. 19.



Sl. 19. Tolerancija oblika i položaja

TOLERANCIJE KVALITETA POVRŠINE

Površine mašinskih delova nikada ne mogu biti idealno glatke: one uvek imaju mikroneravnine u obliku bregova i dolina različitih oblika i dimenzija. Ove neravnine nastaju u prvom redu prilikom obrade skidanjem strugotina u zavisnosti od režima rezanja i oblika alata, ili vučenjem, kovanjem, livenjem itd. Mikrogeometrijske nepravilnosti površina nazivaju se **hrapavost**.

Hrapavost površina mašinskih delova karakterisana je oblikom i veličinom neravnina.

Stvarna površina je površina koja ograničava mašinski deo.

Geometrijska površina je površina definisana crtežom ili postupkom obrade, ne uzimajući u obzir greške oblika i hrapavosti.

Efektivna površina je približna slika stvarne površine, koje se sredstvima merenja može ustanoviti.

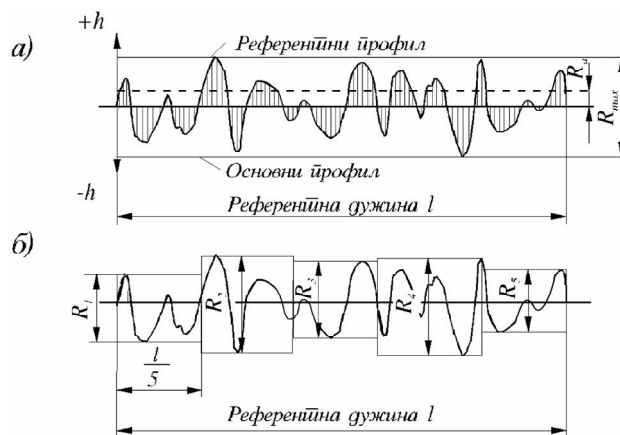
Referentna dužina (l) je odabrana dužina odsečka profila, tako da je eliminisan uticaj valovitosti i drugih nepravilnosti.

Srednja linija profila je linija koja ima oblik geometrijskog profila, a koje seče efektivni profil, tako da u granicama referentne dužine, suma kvadrata odstojanja svih tačaka profila od te linije bude minimalna (sl. 20).

Parametri mikroprofila obrađene površine su **najveća visina neravnina** R_{max} , **srednja visina neravnina** R_z i **srednje aritmetičko odstupanje mikroprofila** R_a . Srednje aritmetičko odstupanje mikroprofila R_a definiše se kao srednja aritmetička vrednost odstojanja svih tačaka efektivnog profila od srednje linije na referentnoj dužini (sl. 20,a)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad (12)$$

Najveća visina neravnina (R_{max}) je rastojanje između pravih koje dodiruju najvišu i najnižu tačku efektivnog profila na referentnoj dužini.



Slika 20. Mikroprofil obrađene površine

Ako se referentna dužina podeli na nekoliko segmenata (najčešće 5) i za svaki od njih nađe najveća visina neravnina (sl. 20, b) onda se srednja visina neravnina određuje prema:

$$R_z = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{5} \quad (13)$$

Kvalitet površina meri se prema stepenu hrapavosti. U pogledu površinske hrapavosti, kao karakteristike kvaliteta obrade, površine su razvrstane u 12 klasa, zavisno od vrednosti. Između

kvaliteta tolerancija dužinskih mera i klasa hrapavosti postoji zavisnost (tablica 4). U slučaju da ne postoje drugi podaci može se uzeti da je $R_z \leq 0,5T$.

Tabela 4.

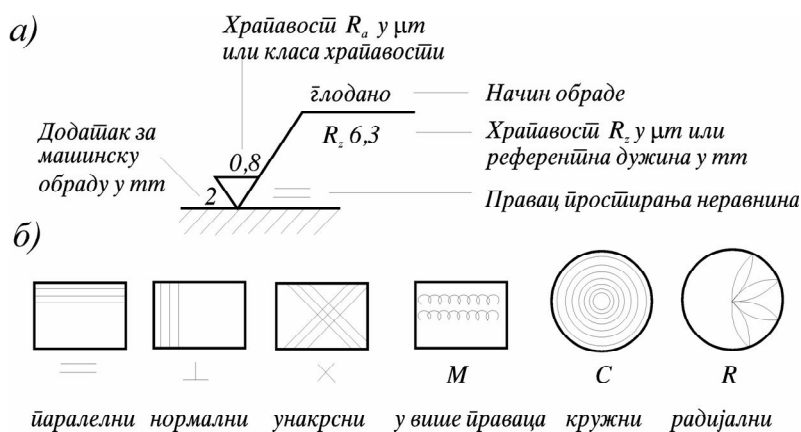
Квалитет ISO толеранција	Подручје називних мера у mm				
	до 3	изнад 3 до 18	изнад 18 до 80	изнад 80 до 250	изнад 250
	Степен површинске храповости				
IT 5	N 4	N 4	N 5	N 5	N 6
IT 6	N 4	N 5	N 5	N 6	N 6
IT 7	N 5	N 5	N 6	N 7	N 7
IT 8	N 6	N 6	N 7	N 7	N 8
IT 9	N 6	N 6	N 8	N 8	N 9
IT 10	-	-	N 8	N 9	N 9
IT 11	N 7	N 8	N 9	N 9	N 10
...					

Hrapavost površine može biti manja ili najviše jednaka propisanoj graničnoj vrednosti. Oznake hrapavosti unose se na crtežu preko oznaka u obliku kukice, koje mogu biti otvorene, zatvorene i sa krugom. Značenje ovih oznaka objašnjeno je u tabel 5.

Tabela 5. Označavanje hrapavosti površina - oblici kukica

Simbol	Značenje
✓	Osnovni simbol. Koristi se samo ukoliko je njegovo značenje dodatno objašnjeno.
∇	Oblik kukice za obradu skidanjem materijala mašinskom obradom.
∇	Oblik kukice za slučaj da nije dozvoljeno skidanje materijala sa površine predmeta (obrada bez rezanja). Koristi se i u slučaju da površina treba da ostane u stanju koje je stvoreno prethodnom operacijom obrade.

Na sl. 21, a prikazana su mesta pored kukice gde se unose dodatne oznake, a na sl. 21, b dati su pravci prostiranja neravnina.



Sl. 21. Kukica sa dodatnim oznakama (a) i pravci prostiranja neravnina (b) prema ISO 1302