

4. Tolerancije i dosjedi

4.1. Općenito o tolerancijama

Dok se u pojedinačnoj proizvodnji ili nekom remontu stroja može u montaži dopustiti tzv. podešavanje i prilagodba dijelova koji trebaju raditi skupa, u serijskoj ili masovnoj proizvodnji suvremena tehnika i tehnologija to ne dopuštaju. Dakle, svaki bi strojni dio trebao biti proizveden tako da pristaje uz svoj pripadajući dio bez ikakve dorade, što uvjetuje uvođenje nekog sustava u smislu točnosti izmjera i željenog dosjeda. Ovaj zahtjev je osobito naglašen specijaliziranjem proizvodnje u kojoj se često sklapaju u strojnu cjelinu proizvodi različitih tvornica. Dotrajali se dijelovi također moraju moći izmijeniti bez dopunske obrade i drugih poteškoća, a prilikom remonta moraju pristajati na stroj bez podešavanja.

Bilo bi negospodarski i nemoguće zahtijevati izmjenljivost dijelova uz održavanje apsolutno jednakih izmjera propisanih izmjerom. Takvu točnost onemogućava proizvodnja, jer je praktički nemoguće izraditi dvije potpuno jednake izmjere koje bi se poklapale na dijelove tisućeg dijela milimetra. Ukoliko se to ipak dogodi, radi se o slučajnosti, a ne o zahtjevu proizvodnje. Osim toga visoka točnost nije ekonomična jer znatno poskupljuje proizvodnju. Iz ovih razloga industrijska proizvodnja odavno dopušta da se dijelovi koji skupa rade i daju dosjed stanovitog značenja izrađuju unutar dviju graničnih izmjera tj. sa stanovitim dopuštenim odstupanjima tzv. tolerancijama. Ovim tolerancijama, koje su sastavni dio izmjere, propisano je koliko se i u kojem smjeru može odstupati od nazivne izmjere navedene kotom na tehničkom crtežu, a da se ipak održi željeni dosjed i osigura izmjenljivost strojnih dijelova.

Primjena proizvodnje u određenim granicama točnosti prvo je započela kod proizvodnje oružja i streljiva. To je tipičan primjer masovne proizvodnje gdje su zahtjevi točnosti najviše izraženi. Zahtjev je bio: osigurati izmjenljivost dijelova i dosjedanje svakog streljiva u svako oružje istog tipa (kalibra). Ovi principi su brzo našli put iz vojne industrije u proizvodnji vozila, strojeva itd., tako da danas nema značajnije tvornice koja ih ne primjenjuje. U početku su pojedine tvornice, a kasnije i pojedine države, razvijale svoje sustave tolerancija. Razlike u sustavima su bile tako velike da ih je hitno trebalo internacionalizirati. Na temelju iskustava pojedinih država donesene su internacionalne norme za tolerancije kojima su zamijenjeni svi propisi o tolerancijama i dosjedima pojedinih država (ISO 286).

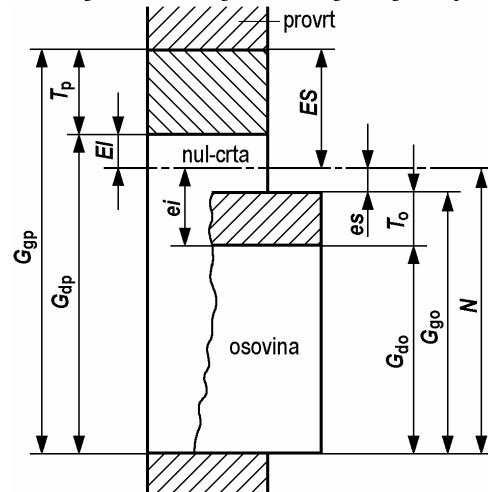
4.2. Tolerancije duljinskih izmjera

4.2.1. Definiranje osnovnih pojmova

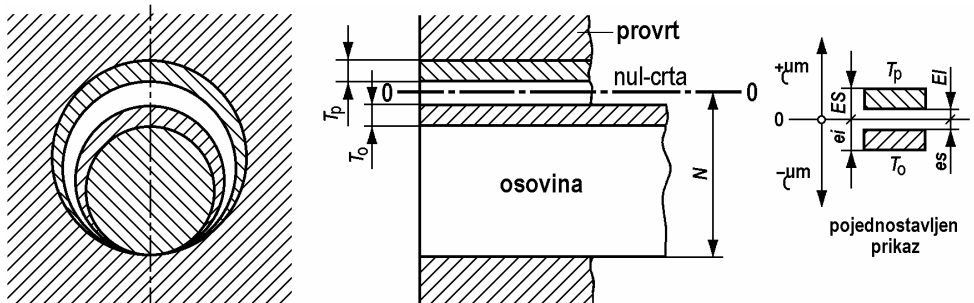
Radi razumijevanja tolerancija potrebno je najprije razjasniti osnovne pojmove koji su vezani za sliku 4.1, sliku 4.2, sliku 4.3 i sliku 4.4.

- **Tolerancija izmjere** ($T = IT$) je dopušteno odstupanje od izmjere u

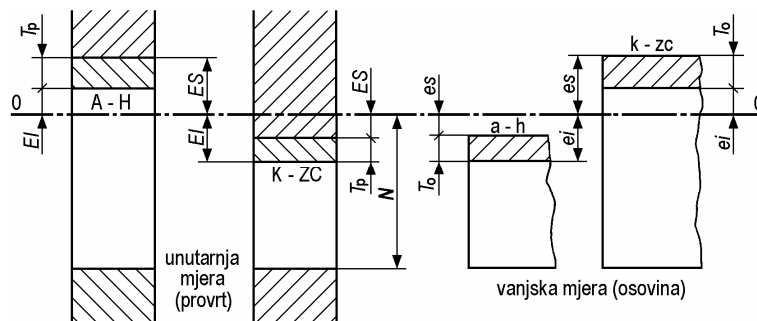
proizvodnji, a jednaka je razlici najveće i najmanje dopuštene izmjere.



Slika 4.1. Definicija osnovnih pojmova tolerancija izmjera



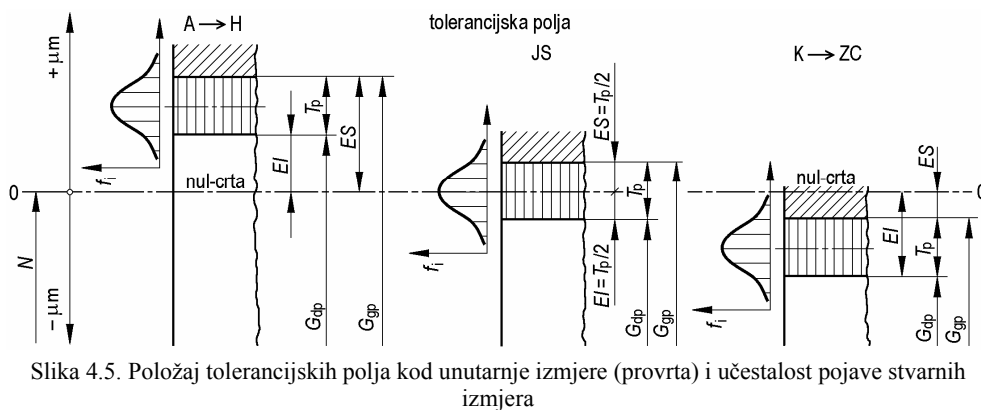
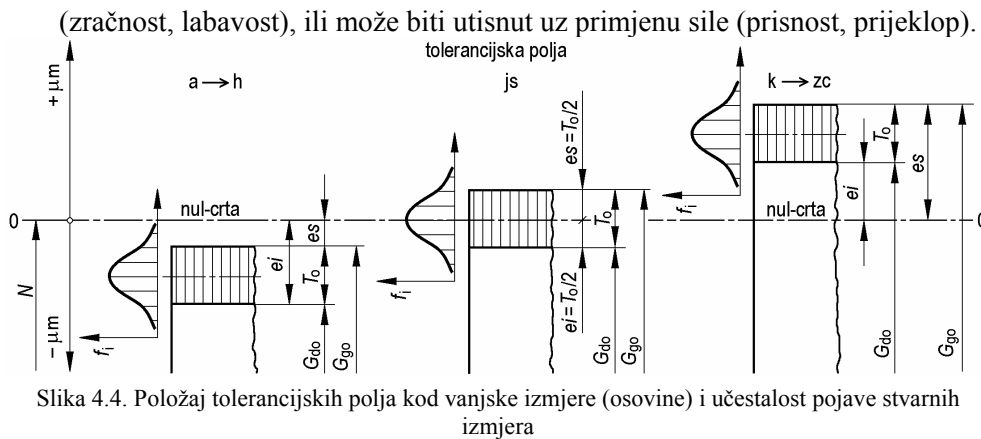
Slika 4.2. Pojam tolerancija i pojednostavljeno prikazivanje



Slika 4.3. Pojam donjih i gornjih odstupanja ili odmjera kod provrta i osovine

- **Nazivna izmjera** (N) je izmjera koja se kao izmjera (kota) unosi u tehnički crtež (ili nominalna izmjera predočena kotom). Obično je to zaokružena

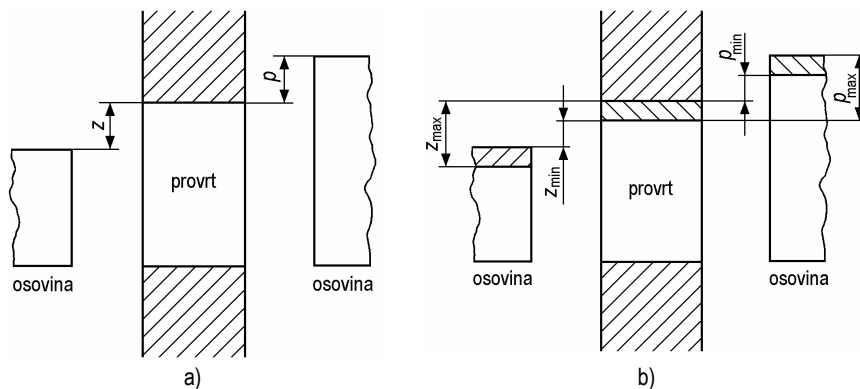
- izmjera, npr. 85 mm.
- **Stvarna izmjera (I)** je izmjera koja se utvrđuje mjerenjem na izrađenom strojnom dijelu. U ovu izmjeru je uključena i netočnost mjerenja. Ova izmjera mora biti unutar dopuštenih graničnih izmjera strojnog dijela, u protivnom se strojni dio odbacuje kao škart, npr. 85,22. Stvarna izmjera se označava i s D_s ili d_s , odnosno N_d .
 - **Granična izmjera** je najveća ili najmanja izmjera koja se dopušta.
 - **Najveća dopuštena izmjera ili gornja granična izmjera (G_g)** je izmjera koja je veća od obiju graničnih izmjera (označava se i s D_{\max} ili d_{\max} , odnosno D_g ili d_g).
 - **Najmanja dopuštena izmjera ili donja granična izmjera (G_d)** je izmjera koja je manja od obiju graničnih izmjera (označava se i s D_{\min} ili d_{\min} , odnosno D_d ili d_d).
 - **Odstupanje ili odmjera** je razlika između stvarne i nazivne izmjere, npr.: $85,22 - 85 = +0,22$, a može biti pozitivna ili negativna.
 - **Gornje odstupanje ili gornja odmjera (ES, es)** je razlika između najveće dopuštene i nazivne izmjere, npr.: $85,58 - 85 = +0,28$. I ovo odstupanje (odmjera) može biti pozitivno ili negativno (označava se i s A_g ili a_g).
 - **Donje odstupanje ili donja odmjera (EI, ei)** je razlika između najmanje i nazivne izmjere, npr.: $84,90 - 85 = -0,1$. I ovo odstupanje (odmjera) može biti pozitivno ili negativno (označava se i s A_d ili a_d).
 - **Stvarno odstupanje ($A = I - N$)** je razlika između stvarne izmjere i nazivne izmjere, npr.: $85,22 - 85 = +0,22$.
 - **Polje tolerancije ($T_o = IT_o, T_p = IT_p$)** je područje omeđeno najvećom i najmanjom dopuštenom izmjerom (za vanjsku izmjeru ili osovinu $T_o = G_{go} - G_{do} = es - ei$, za unutarnju izmjeru ili provrt $T_p = G_{gp} - G_{dp} = ES - EI$). Prilikom izrade strojnih dijelova, obradni strojevi i alati se podešavaju tako da se stvarna izmjera nakon izrade nađe u sredini tolerancijskog polja, odnosno da je stvarna izmjera srednja vrijednost u odnosu na granične izmjere. Iako pri izradi dijelova neke izmjere odstupaju od srednje vrijednosti, ipak se najveći broj izmjera izvodi sa srednjim vrijednostima kako to pokazuje raspodjela stvarnih izmjera, odnosno učestalost njihove pojave (slika 4.4 i slika 4.5). Nastoji se da učestalost graničnih izmjera bude što manja. Oblik funkcije raspodjele stvarnih izmjera može biti različit, odnosno točka gomilanja može biti u sredini, lijevo ili desno pomjerena. Tehnološki proces je ekonomski bolji ako je raspodjela simetrična u odnosu na sredinu tolerancijskog polja. Ocjena raspodjele stvarnih izmjera provodi se primjenom Normalne ili Gaussove raspodjele i metoda statističke matematike.
 - **Nul-crta (0, crta ništice)** odgovara u slikama i grafičkim predodžbama nazivnoj izmjeri kao polaznoj crti od koje se određuje tolerancija.
 - **Dosjed (sklop)** je odnos izmjera između dijelova dvaju strojnih dijelova koji su u spoju. Jedan dio može ući lako u drugi, a da ne ispuni potpuno prostor



- **Labavost ili zračnost (z)** je razlika u izmjerama provrta i osovine kada je promjer provrta veći od promjera osovine. U ovom primjeru između njih postoji određena zračnost (slika 4.6.a – bez tolerancija i slika 4.6.b – s tolerancijama).
- **Prisnost, prijeklop ili prijelaz (p)** je razlika u izmjerama provrta i osovine kada je promjer provrta manji od promjera osovine. U ovom primjeru jedan strojni dio se mora utisnuti u drugi uz primjenu sile (slika 4.6.a – bez tolerancija i 4.6.b – s tolerancijama).
- **Kvaliteta** je oznaka vrijednosti za neki red tolerancija, koji će kod različitih promjera dati sličnu točnost. Kvaliteta u suštini predstavlja točnost proizvodnje. U ISO sustavu se kvaliteta označava brojevima, a izmjeri u mikrometrima ($1 \mu\text{m} = 1 - 10 \text{ mm}$).
- **Provrt** je u smislu tolerancija vanjska izmjera dosjeda, bez obzira da li se radi o kružnoj ili ravnoj izmjeri. Za strojni dio je to neka unutarnja izmjera, ali u spoju dva dijela - dosjeda - to je vanjska izmjera jer obuhvaća pripadni dio.
- **Osovina** je u smislu tolerancija unutarnja izmjera dosjeda, bez obzira da li se

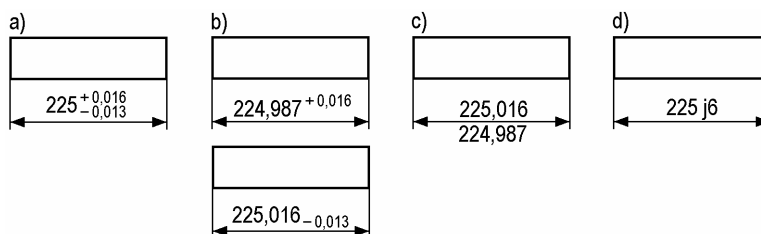
radi o kružnoj ili ravnoj izmjeri. Za strojni dio je to neka vanjska izmjera, ali u spoju dva dijela - dosjeda - to je unutarnja izmjera jer obuhvaća pripadni dio.

- **Sustav tolerancija** je planski i izrađen red dosjeda s različitim zračnostima i prijeklopima (prekomjerama).
- **Osnovne ili temeljne tolerancije** su utvrđene vrijednosti tolerancija za 16 (odnosno 18) kvaliteta, bez obzira na njihov smještaj glede nul-linije.



Slika 4.6. Pojam dosjeda (a – bez tolerancija, b – s tolerancijama)

- **ISO** tolerancije obvezatno se primjenjuju kad se radi o dosjedu dva strojna dijela s izmjerama između 1 i 500 mm. Za druge izmjere dosjeda, kao i za sve tolerancije pojedinačnih izmjera koje neće biti u dosjedu s drugim strojnim dijelovima, navode se vrijednosti tolerancija brojčanim podacima. To su tzv. tolerancije duljinskih izmjera ili duljinske tolerancije. One se mogu unijeti u crteže na različite načine, kao što to prikazuje slika 4.7.:
- Navođenjem gornjeg i donjeg odstupanja, odnosno gornje i donje odmjere;
 - Uračunavanjem jedne odmjere u nazivnu izmjeru, dok se tolerancija navodi kao druga odmjera;
 - Navođenjem najveće i najmanje dopuštene izmjere;
 - Navođenjem oznake tolerancijskog polja i kvalitete.



Slika 4.7. Načini unošenja tolerancija duljinskih izmjera u tehničke crteže

Pravilo je da se tolerancije duljinskih izmjera navode u milimetrima, pa nije potrebno navoditi jedinicu mjere.

U primjeru tolerancija kutova potrebno je navesti o kojima se jedinicama mjere radi: stupnjevi, minute ili sekunde (npr.: $60^\circ \pm 15'$ ili $5^\circ \pm 30''$).

4.2.2. Osnove ISO sustava tolerancija duljinskih izmjera

Za praktičku primjenu i za pravilno funkcioniranje strojnih dijelova značajne su tolerancije dijelova u dosjedu. Za istu kvalitetu nekog dosjeda tolerancija mora biti razmjerna veličini izmjere, tj. izražena u postocima od izmjere ona mora biti za isti karakter dosjeda praktički jednaka. Iz tog razloga se kod ISO sustava tolerancija svaka kvaliteta mijenja u zavisnosti od promjera. Ova zavisnost se izražava jedinicom tolerancije i (ili međunarodnom jedinicom tolerancije, ili tolerancijskim koeficijentom) za nazivne izmjere N od 1 do 500 mm, odnosno I za nazivne izmjere N od 501 do 3150 mm. Odabrana jedinica tolerancije (i ili I) je funkcija nazivne izmjere N s pripadnom iskustvenom korekcijom (linearnom) zbog netočnosti mjerenja (tablica 4.1.).

Tablica 4.1. Osnovne tolerancije i primjena za pojedine kvalitete tolerancija

KVALITETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Red tolerancija IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Osnovna tolerancija	A		B		7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i		
PRIMJENA	Kontrolne mjerke, precizna mehanika				Opće strojarstvo (dosjedi elemenata strojeva)							Veća tolerancija obrade kod strojnih dijelova bez dosjeda						
<p>Pojašnjenje:</p> <p>A - Utvrđeno na osnovu nazivne izmjere N: $IT01 = 0,3 + 0,008 \cdot N$, $IT0 = 0,5 + 0,012 \cdot N$ i $IT1 = 0,8 + 0,02 \cdot N$</p> <p>B - Utvrđeno geometrijskim stupnjevanjem između IT1 i IT5.</p> <p>* $i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{N} + 0,001 \cdot N$ - za nazivne izmjere od 1 do 500 mm</p> <p>* $I = 0,004 \cdot N + 2,1$ - za nazivne izmjere od 501 do 3150 mm</p> <p>gdje je: i, I - jedinica tolerancije, μm N - nazivna izmjera, mm</p>																		

Osnovne tolerancije (temeljne tolerancije) su pojedine kvalitete ISO sustava tolerancija (tzv. redovi tolerancija IT) iskazani odgovarajućim brojevima jedinica tolerancija (tablica 4.1.). One se počevši od kvalitete 6 (IT6), mijenjaju po geometrijskom redu R_a5 . U ISO sustavu tolerancija utvrđeno je 16 kvaliteta, odnosno 18 osnovnih redova tolerancija (IT redova). Uvrštavanjem vrijednosti jedinica tolerancija i za različite nazivne izmjere N dobile bi se vrijednosti osnovnih tolerancija.

Za svaku nazivnu izmjeru N praktično se ne računa vrijednost jedinice tolerancija, već se koriste tablice u kojima su nazivne izmjere svrstane u razrede u kojima su iste stupnjevane po geometrijskom redu. Razredi nazivnih izmjera (npr. promjera) od 1 do 500 mm su:

m	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
-----	---	---	---	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

<i>n</i>	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
gdje je: <i>m</i> - početak razreda, <i>n</i> - kraj razreda													

Za neke dosjede s većom zračnosti i prisnosti uveden je međurazred i stupanj podijeljen na dva. Tolerancije u ovim tablicama izračunate su za sredinu razreda $N' = (m \cdot n)^{1/2}$. Npr. za razred 30 - 50 sredina razreda je $N' = 38,730$ mm. Razlike u tolerancijama za sve ostale nazivne izmjere unutar ovog razreda su praktično zanemarive.

Tolerancijski koeficijenti *i* izračunati pomoću izraza iz tablice 4.1., dani su u tablici 4.2. za područje izmjera od 1 do 500 mm.

Iz tablice 4.1. vidljivo je da za kvalitetu tolerancije IT01, IT0 i IT1 vrijedi iznimka, tako da se u ovim slučajevima tolerancijski koeficijent *i* izračunava pomoću sljedećih izraza:

- za IT01 → $i = 0,3 + 0,008 \cdot N$
- za IT0 → $i = 0,5 + 0,012 \cdot N$
- za IT1 → $i = 0,8 + 0,020 \cdot N$

Veličina tolerancijskog polja *T* za različite IT kvalitete tolerancija dobiva se prema tablici 4.3. i moguće ju je zaokružiti na cijeli broj.

Tablica 4.2. Nazivne izmjere *N* od 1 do 500 mm i tolerancijski koeficijent *i*

<i>N</i> , mm	1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
<i>i</i> , μm	0,6	0,75	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0

Tablica 4.3. Veličine tolerancijskih polja *T* za nazivne izmjere od 1 do 500 mm

IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>T</i> , μm	izraz a)*	izraz b)*	izraz c)*	*	*	*	7 <i>i</i>	10 <i>i</i>	16 <i>i</i>	25 <i>i</i>
IT	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>T</i> , μm	40· <i>i</i>	64· <i>i</i>	100· <i>i</i>	160· <i>i</i>	250· <i>i</i>	400· <i>i</i>	640· <i>i</i>	1000· <i>i</i>	1600· <i>i</i>	2500· <i>i</i>

*Za kvalitete tolerancija IT2, IT3 i IT4 vrijednosti *T* su geometrijski stupnjevane između kvalitete IT1 i IT5.
a) $i = 0,3 + 0,008 \cdot N$, b) $i = 0,5 + 0,012 \cdot N$, c) $i = 0,8 + 0,020 \cdot N$

Tablica 4.4. Nazivne izmjere za 500 mm do 3150 mm i tolerancijski koeficijent *I*

<i>N</i> , mm	500-630	630-800	800-1000	1000-1250	1250-1600	1600-2000	2000-2500	2500-3150
<i>I</i> , μm	4,4	5,0	5,6	6,6	7,8	9,2	11,0	13,2

Tablica 4.5. Veličina tolerancijskih polja *T* za nazivne izmjere 500 do 3150 mm

IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>T</i> , μm	-	-	2· <i>I</i>	2,7· <i>I</i>	3,7· <i>I</i>	5· <i>I</i>	7· <i>I</i>	10· <i>I</i>	16· <i>I</i>	25· <i>I</i>
IT	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>T</i> , μm	40· <i>I</i>	64· <i>I</i>	100· <i>I</i>	160· <i>I</i>	250· <i>I</i>	400· <i>I</i>	640· <i>I</i>	1000· <i>I</i>	1600· <i>I</i>	2500· <i>I</i>

Veličina tolerancijskog polja za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm, može se jednako kao i za izmjere do 500 mm, s tom razlikom da se tolerancijski koeficijent

označava sa I i izračunava pomoću izraza navedenog u tablici 4.1. Dobivene vrijednosti I za pojedina područja nazivnih izmjera dane su u tablici 4.4.

Tablica 4.6. Veličine tolerancijskih polja T za izmjere do 500 mm

$T, \mu\text{m}$	Nazivne izmjere N, mm												
	do 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
IT01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
IT1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
IT2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
IT3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
IT4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
IT14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
IT15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
IT16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
IT17	-	-	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
IT18	-	-	-	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700

Tablica 4.6. Veličine tolerancijskih polja T za izmjere od 500 mm do 3150 mm

$T, \mu\text{m}$	Nazivne izmjere N, mm							
	500-630	630-800	800-1000	1000-1250	1250-1600	1600-2000	2000-2500	2500-3150
IT01	-	-	-	-	-	-	-	-
IT0	-	-	-	-	-	-	-	-
IT1	9	10	11	13	15	18	22	26
IT2	11	13	15	18	21	25	30	36
IT3	16	18	21	24	29	35	41	50
IT4	22	25	28	33	39	46	55	68
IT5	32	36	40	47	55	65	78	96
IT6	44	50	56	66	78	92	110	135
IT7	70	80	90	105	125	150	175	210
IT8	110	125	140	165	195	230	280	330
IT9	175	200	230	260	310	370	440	540
IT10	280	320	360	420	500	600	700	860
IT11	440	500	560	660	780	920	1100	1350
IT12	700	800	900	1050	1250	1500	1750	2100
IT13	1100	1250	1400	1650	1950	2300	2800	3300
IT14	1750	2000	2300	2600	3100	3700	4400	5400
IT15	2800	3200	3600	4200	5000	6000	7000	8600
IT16	4400	5000	5600	6600	7800	9200	11000	13500
IT17	7000	8000	9000	10500	12500	15000	17500	21000
IT18	11000	12500	14000	16500	19500	23000	28000	33000

Veličina tolerancijskog polja T za različite IT kvalitete tolerancija, dobiva se iz tablice 4.5. Izračunate veličine T mogu se zaokružiti na cijeli broj, a veličine tolerancijskih polja T sredene su i grupirane u tablici 4.6. i tablici 4.7.

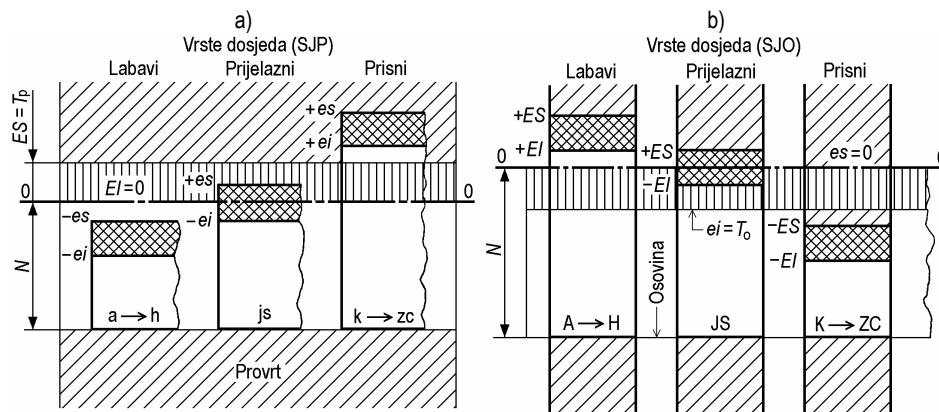
Za izbor kvalitete tolerancije mogu poslužiti sljedeće iskustvene preporuke:

- IT01 ... IT4 - za precizni mjerni pribor,
- IT5 ... IT7 - za mjerni pribor radioničke kontrole i najfinije dosjede,
- IT6 ... IT9 - za fini dosjed,
- IT7 ... IT10 - za prosječno dosjedanje,
- IT9 ... IT11 - za grubo dosjedanje i
- IT12 ... IT18 - za izmjere i površine koji nisu u dosjedu (npr. kovani ili valjani dijelovi).

4.2.3. Sustav jedinstvenog provrta (SJP) i sustav jedinstvene osovine (SJO)

U praksi se upotrebljavaju dva sustava tolerancija:

- Sustav jedinstvenog provrta (SJP) je sustav u kojem se prema jednakom (zajedničkom) provrtu prilagođavaju osovine za različite dosjede (slika 4.8.a).
- Sustav jedinstvene osovine (SJO) je sustav u kojem se prema jednakoj (zajedničkoj) osovini prilagođavaju provrti za različite dosjede (slika 4.8.b).



Slika 4.8. Sustav jedinstvenog provrta (SJP) (a) i sustav jedinstvene osovine (SJO) (b)

S obzirom na preporučljive dosjede, jedinstveni dio (bilo provrt, bilo osovina) ima uvijek za sve kvalitete, promjere i dosjede jednu odmjeru jednaku nuli, tj. jednaku nazivnoj izmjeri (N). Druga odmjera je jednaka za sve dosjede unutar određenog područja promjera i određene kvalitete. U sustavu jedinstvenog provrta donja odmjera je jednaka nuli ($EI = 0$), a u sustavu jedinstvene osovine gornja odmjera je jednaka nuli ($es = 0$), tj. tolerancija uvijek ulazi u materijal (bilo provrta, bilo osovine) (slika 4.8.).

U praksi se primjenjuju oba sustava, ali se češće primjenjuje sustav

jedinstvenog provrta, iz razloga lakše obrade i mjerenja s vanjske strane strojnog dijela (osovine). Međutim, ponekad je potrebno prema gotovoj osovine podesiti promjere strojnih dijelova koji dolaze na nju (glavine zupčanika, remenica itd.).

4.2.4. Položaj i označavanje tolerancijskih polja

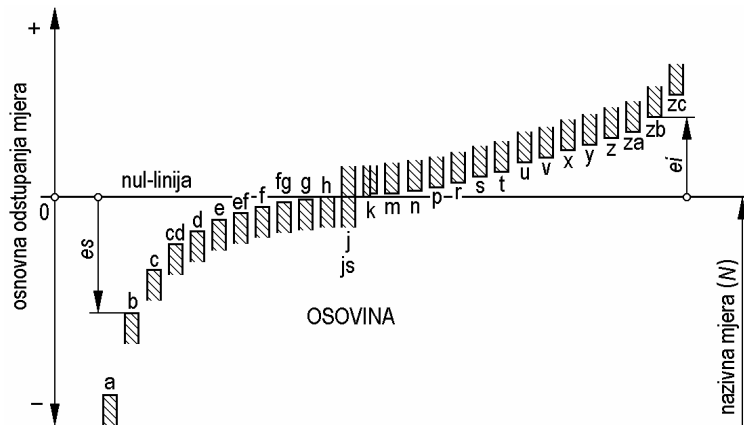
Položaj tolerancijskih polja određen je s obzirom na nul-crtu slovima latinice (međunarodne), i to:

Za vanjske izmjere (osovine) – malim slovima latinice (slika 4.9.):

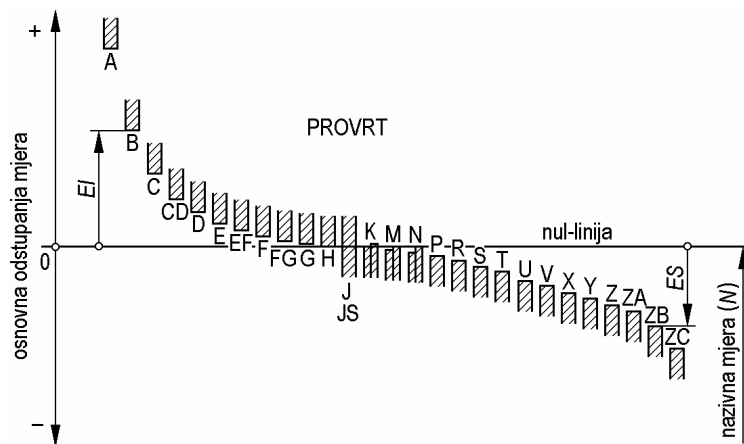
a b c cd d e ef f fg g h j (js) k m n p r s t u v x y z za zb zc

Za unutarnje izmjere (provrt) – velikim slovima latinice (slika 4.10.):

A B C CD D E EF F FG G H J (JS) K M N P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC



Slika 4.9. Položaj tolerancijskih polja za vanjske izmjere (osovine)



Slika 4.10. Položaj tolerancijskih polja za unutarnje izmjere (provrt)

Položaj tolerancijskog polja označen s gore navedenim slovima određen je jednim od graničnih odstupanja koja su na slici 4.9. i slici 4.10. označena kao donja ili gornja odmjera (es , ei , ES , EI). Veličine ovih odstupanja ovise o nazivnim izmjerama, odnosno o položaju nazivnih izmjera.

Položaji tolerancijskih polja cd , ef i fg za vanjske, odnosno CD , EF i FG za unutarnje izmjere, koriste se za nazivne izmjere do 10 mm.

Oznaku tolerancije duljinske izmjere čini kombinacija simbola koji određuju položaj i veličinu tolerancijskog polja. Tako npr. oznaku $\varnothing 80F8$ ili $\varnothing 40h7$ čine nazivne izmjere $\varnothing 80$, odnosno $\varnothing 40$, položaj tolerancijskog polja **F** za provrt, odnosno **h** za osovinu i kvaliteta tolerancije IT8, odnosno IT7.

Na osnovu nazivne izmjere i oznake položaja tolerancijskog polja **F**, odnosno polja **h**, određuje se jedno od graničnih odstupanja (slika 4.9. i slika 4.10.). Dodavanjem veličine tolerancije T , određuje se drugo granično odstupanje. Oba ova odstupanja (gornje i donje) za izabrana tolerancijska polja i za izabrane kvalitete tolerancija daju se tabelarno, čime se postupak određivanja graničnih odstupanja pojednostavljuje.

Položaj tolerancijskog polja u odnosu na nul-crtu, kako za vanjsku tako i za unutarnju izmjeru, može se definirati u nekoliko osnovnih slučajeva.

Tolerancijsko polje leži iznad nul-crte (slika 4.4. i slika 4.5., odnosno slika 4.9. i slika 4.10.) pa je stvarna izmjera, koja treba biti unutar tolerancijskog polja, veća od nazivne izmjere, odnosno:

$$es > 0 \text{ i } ei > 0 \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES > 0 \text{ i } EI > 0 \text{ za unutarnje izmjere.}$$

U ovom se položaju nalaze tolerancijska polja od **m** do **zc** vanjske izmjere, odnosno od **A** do **G** za unutarnje izmjere.

Tolerancijsko polje leži s gornje strane i to na nul-crti, tako da je donja odmjera jednaka nazivnoj izmjeri (slika 4.9. i slika 4.10.), a stvarna će izmjera biti jednaka ili veća od nazivne izmjere

$$es > 0 \text{ i } ei = 0 \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES > 0 \text{ i } EI = 0 \text{ za unutarnje izmjere.}$$

U ovom se položaju nalazi tolerancijsko polje **k** za vanjske izmjere, odnosno **H** za unutarnje izmjere.

Tolerancijsko polje leži s obje strane nul-crte, simetrično ili nesimetrično (slika 4.4. i slika 4.5., odnosno slika 4.9. i slika 4.10.). Stvarna izmjera može biti veća, jednaka ili manja od nazivne izmjere

$$es > 0 \text{ i } ei < 0 \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES > 0 \text{ i } EI < 0 \text{ za unutarnje izmjere.}$$

U ovom se položaju nalaze tolerancijska polja **j** i **js** za vanjske izmjere, odnosno **J** i **JS** (svi slučajevi) i **K** (neki slučajevi) za unutarnje izmjere. Polja **js** i **JS** su simetrična u odnosu na nul-crtu.

Tolerancijsko polje leži s donje strane na nul-crtu, tako da je gornja odmjera jednaka nazivnoj izmjeri (slika 4.9. i slika 4.10.). Stvarna će izmjera biti jednaka ili manja od nazivne izmjere

$$es = 0 \text{ i } ei < 0 \text{ za vanjske izmjere i}$$

$$ES = 0 \text{ i } EI < 0 \text{ za unutarnje izmjere.}$$

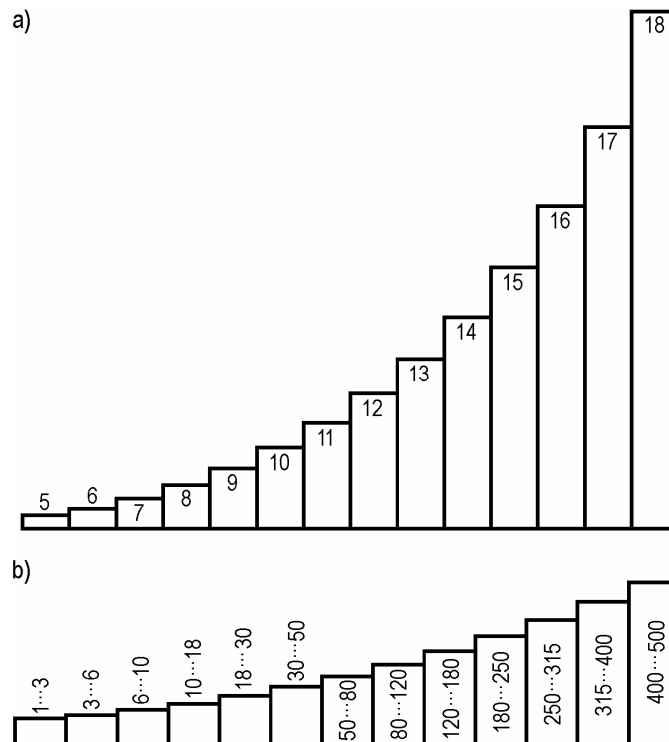
U ovom se položaju nalazi tolerancijsko polje **h** za vanjske izmjere, odnosno polja od **K** do **N** (neki slučajevi) za unutarnje izmjere.

Tolerancijsko polje leži ispod nul-crte (slika 4.4. i slika 4.5., odnosno slika 4.9. i slika 4.10.). Stvarna će izmjera biti manja od nazivne izmjere

$$es < 0 \text{ i } ei < 0 \text{ za vanjske izmjere i}$$

$$ES < 0 \text{ i } EI < 0 \text{ za unutarnje izmjere.}$$

U ovom se položaju nalaze tolerancijska polja od **a** do **g** za vanjske izmjere i od **P** do **ZC** za unutarnje izmjere.



Slika 4.11. Promjena veličine tolerancijskog polja
(a - ovisno o kvaliteti tolerancije i b - ovisno o području nazivne izmjere)

Već je rečeno da je promjena veličine tolerancijskog polja ovisna o kvaliteti tolerancije i o nazivnoj izmjeri (slika 4.11.). Veza također postoji između tolerancije i hrapavosti površine nekog elementa, tako da se ne može propisati fina tolerancija za grubo obrađene dijelove.

U tablicama 4.7. do 4.16. navedena su gornja i donja odstupanja (*es*, *ES*), odnosno (*ei*, *EI*), ovisno o položaju tolerancijskog polja ispod ili iznad nul-crte.

Tablica 4.7. Gornje odstupanje *es* za položaje tolerancijskih polja **a** do **js** za nazivne izmjere do 500 mm i za sve IT kvalitete

N, mm	Gornje odstupanje <i>es</i> , μm											
	a ¹⁾	b ²⁾	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
.....3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	
3...6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	
6...10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	2)
19...18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	
18...30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	
30...40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	
40...50	-320	-180	-130		-80	-50		-25		-9	0	
50...65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	
65...80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0	
80...100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	
100...120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0	
120...140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	
140...160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0	
160...180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0	
180...200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0	
200...225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0	
225...250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0	
250...280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	
280...315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0	
315...355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0	
355...400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0	
400...450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	
450...500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	

¹⁾ Položaji a i b se ne koriste za nazivne izmjere do uključivo 1 mm
²⁾ Gornje odstupanje *es* = +0,5·*T* ovisno je o IT kvaliteti. Npr. za *N* = 40 mm i kvalitetu IT11 iz tablice 4.5. očitava da je *T* = 160 μm pa je *es* = +0,5·160 = 80 μm

Tablica 4.8. Donje odstupanje *ei* za položaje tolerancijskih polja **j** do **s** za nazivne izmjere do 500 mm

N, mm	Donje odstupanje <i>ei</i> , μm										
	IT5 IT6	IT7	IT8	IT4 do IT7	IT3 do IT7	Sve IT kvalitete					
	j			k		m	n	p	r	s	t

...3	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18
3...6	-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23
6...10	-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28
10...18	-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33
18...24	-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41
24...30	-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	+41	+48
30...40	-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60
40...50	-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+54	+70

Tablica 4.8. Donje odstupanje e_i za položaje tolerancijskih polja j do s za nazivne izmjere do 500 mm (nastavak)

N, mm	Donje odstupanje e_i , μm											
	IT5 IT6	IT7	IT8	IT4 do IT7	IT3 do IT7	Sve IT kvalitete						
	j			k		m	n	p	r	s	t	u
50...65	-7	-12		+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87
65...80	-7	-12		+2	0	+11	+20	+32	+43	+59	+75	+102
80...100	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124
100...120	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37	+54	+79	+104	+144
120...140	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170
140...160	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190
160...180	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+68	+108	+146	+210
180...200	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236
200...225	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258
225...250	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+84	+140	+196	+284
250...280	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315
280...315	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56	+98	+170	+240	+350
315...355	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390
355...400	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62	+114	+208	+294	+435
400...450	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490
450...500	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68	+132	+252	+360	+540

Tablica 4.9. Donje odstupanje e_i za položaje tolerancijskih polja v do zc za nazivne izmjere do 500 mm i za sve IT kvalitete

N, mm	Donje odstupanje e_i , μm						
	v	x	y	z	za	zb	zc
...3		+20		+26	+32	+40	+60
3...6		+28		+35	+42	+50	+80
6...10		+34		+42	+52	+67	+97
10...14		+40		+50	+64	+90	+130
14...18	+39	+45		+60	+77	+108	+150
18...24	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24...30	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30...40	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40...50	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50...65	+102	+122	+114	+172	+226	+300	+405
65...80	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80...100	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+565
100...120	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120...140	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140...160	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160...180	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180...200	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200...225	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225...250	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250...280	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280...315	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315...355	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355...400	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400...450	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450...500	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

Tablica 4.10. Gornje odstupanje e_s za položaje tolerancijskih polja d do js za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm i za sve IT kvalitete

N, mm	Gornje odstupanje e_s , μm					
	d	e	f	g	h	js
500...630	-260	-145	-76	-22	0	es = +0,5·T ovisno o IT kvaliteti (vidjeti opasku ispod tablice 4.7)
630...800	-290	-160	-80	-24	0	
800...1000	-320	-170	-86	-26	0	
1000...1250	-350	-195	-98	-28	0	
1250...1600	-390	-220	-110	-30	0	
1600...2000	-430	240	-120	-32	0	
2000...2500	-480	-260	-130	-34	0	
2500...3150	-520	-290	-145	-38	0	

Tablica 4.11. Donje odstupanje ei za položaje tolerancijskih polja **k** do **u** za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm i za sve IT kvalitete

N, mm	Donje odstupanje $ei, \mu\text{m}$								
	k	m	n	p	r	s	t	u	
500...560	0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600	
560...630	0	+26	+44	+78	+155	+310	+450	+660	
630...710	0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740	
710...800	0	+30	+50	+88	+185	+380	+560	+840	
800...900	0	+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940	
900...1000	0	+34	+56	+100	+220	+470	+680	+1050	
1000...1120	0	+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1150	
1120...1250	0	+40	+66	+120	+260	+580	+840	+1300	
1250...1400	0	+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1450	
1400...1600	0	+48	+78	+140	+330	+720	+1050	+1600	
1600...1800	0	+58	+92	+170	+370	+820	+1200	+1850	
1800...2000	0	+58	+92	+170	+400	+920	+1350	+2000	
2000...2240	0	+68	+110	+195	+440	+1000	+1500	+2300	
2240...2500	0	+68	+110	+195	+460	+1100	+1650	+2500	
2500...2800	0	+76	+135	+240	+550	+1250	+1900	+2900	
2800...3150	0	+76	+135	+240	+580	+1400	+2100	+3200	

Tablica 4.12. Donje odstupanje EI za položaje tolerancijskih polja **A** do **JS** za nazivne izmjere od 1 do 500 mm i za sve IT kvalitete

N, mm	Donje odstupanje $EI, \mu\text{m}$												
	A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	
...3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0		
3...6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		
6...10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		
19...18	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0	2)	
18...30	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0		
30...40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0		
40...50	+320	+180	+130		+80	+50		+25		+9	0		
50...65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		
65...80	+360	+200	+150		+100	+60		+30		+10	0		
80...100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		
100...120	+410	+240	+180		+120	+72		+36		+12	0		
120...140	+460	+260	+200		+145	+85		+43		+14	0		
140...160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0		

¹⁾ Položaj A i B se ne koriste za nazivne izmjere do uključivo 1 mm.
²⁾ Donje odstupanje $EI = -0,5 \cdot T$, ovisno o IT kvaliteti. Npr. za $N = 70$ mm i kvalitetu IT10 se iz tablice 4.6 očitava da je $T = 120 \mu\text{m}$ pa je $EI = -0,5 \cdot 120 = -60 = -0,5 \cdot 120 = -60 \mu\text{m}$.

Tablica 4.12. Donje odstupanje EI za položaje tolerancijskih polja **A** do **JS** za nazivne izmjere od 1 do 500 mm i za sve IT kvalitete (nastavak)

N, mm	Donje odstupanje EI , μm											
	A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS
120...140	+410	+240	+180		+120	+72		+36		+12	0	
140...160	+460	+260	+200		+145	+85		+43		+14	0	
160...180	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0	
180...200	+580	+310	+230		+145	+85		+43		+14	0	
200...225	+660	+340	+240		+170	+100		+50		+15	0	
225...250	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0	
250...280	+820	+420	+280		+170	+100		+50		+15	0	
280...315	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0	
315...355	+1050	+540	+330		+190	+110		+56		+17	0	
355...400	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0	
400...450	+1350	+680	+400		+210	+125		+62		+18	0	
450...500	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0	
	+1650	+840	+480		+230	+135		+68		+20	0	

¹⁾ Položaj A i B se ne koriste za nazivne izmjere do uključivo 1 mm.
²⁾ Donje odstupanje $EI = -0,5 \cdot T$, ovisno o IT kvaliteti. Npr. za $N = 70$ mm i kvalitetu IT10 se iz tablice 4.6 očitava da je $T = 120 \mu\text{m}$ pa je $EI = -0,5 \cdot 120 = -60 = -0,5 \cdot 120 = -60 \mu\text{m}$.

Tablica 4.13. Gornje odstupanje ES za položaje tolerancijskih polja **J** do **N** za nazivne izmjere od 1 do 500 mm

N, mm	Gornje odstupanje ES , μm								Vrijednosti Δ , μm						
	IT6	IT7	IT8	<IT8	>IT8	<IT8	>IT8	<IT8	>IT8	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
	J			K ¹⁾		M ¹⁾		N ¹⁾²⁾							
...3	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	0	0	0	0	0	0
3...6	+5	+6	+10	$\Delta - 1$		$\Delta - 4$	-4	$\Delta - 8$	0	1	1,5	2	3	4	6
6...10	+5	+8	+12	$\Delta - 1$		$\Delta - 6$	-6	$\Delta - 10$	0	1	1,5	2	3	6	7
10...18	+6	+10	+15	$\Delta - 1$		$\Delta - 7$	-7	$\Delta - 12$	0	1	2	3	3	7	9
18...30	+8	+12	+20	$\Delta - 2$		$\Delta - 8$	-8	$\Delta - 15$	0	1,5	2	3	4	8	12
30...50	+10	+14	+24	$\Delta - 2$		$\Delta - 9$	-9	$\Delta - 17$	0	1,5	3	4	5	9	14
50...80	+13	+18	+28	$\Delta - 2$		$\Delta - 11$	-11	$\Delta - 20$	0	2	3	5	6	11	16
80...120	+16	+22	+34	$\Delta - 3$		$\Delta - 13$	-13	$\Delta - 23$	0	2	4	5	7	13	19
120...180	+18	+26	+41	$\Delta - 3$		$\Delta - 15$	-15	$\Delta - 27$	0	3	4	6	7	15	23
180...250	+22	+30	+47	$\Delta - 4$		$\Delta - 17$	-17	$\Delta - 31$	0	3	4	6	9	17	26
250...315	+25	+36	+55	$\Delta - 4$		$\Delta - 20$	-20	$\Delta - 34$	0	4	4	7	9 ³⁾	20	29
315...400	+29	+39	+60	$\Delta - 4$		$\Delta - 21$	-21	$\Delta - 37$	0	4	5	7	11	21	32
400...500	+33	+43	+66	$\Delta - 5$		$\Delta - 23$	-23	$\Delta - 40$	0	5	5	7	13	23	34

¹⁾ Vrijednosti Δ se očitavaju iz zadnjih 6 stupaca
²⁾ Položaj N se ne koristi za kvalitete iznad IT8 i za nazivne izmjere do uključivo 1 mm
³⁾ 11 μm za tolerancijsko polje M6

Tablica 4.14. Gornje odstupanje ES za položaje tolerancijskih polja **P** do **ZC** za nazivne izmjere od 1 do 500 mm za IT kvalitete iznad IT7¹⁾

N, mm	Gornje odstupanje ES , μm											
	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC
...3	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60
3...6	-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80
6...10	-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97
10...14	-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130

¹⁾ Za IT kvalitete do IT7, vrijednostima iz tablice treba dodati Δ iz tablice 4.13.

Tablica 4.14. Gornje odstupanje ES za položaje tolerancijskih polja **P** do **ZC** za nazivne izmjere od 1 do 500 mm za IT kvalitete iznad IT7¹⁾ (nastavak)

N, mm	Gornje odstupanje ES , μm											
	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC
14...18	-18	-23	-28		-33	-39	-45		-60	-77	-108	-150
18...24	-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188
24...30	-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218
30...40	-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274
40...50	-26	-34	-43	-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325
50...65	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405
65...80	-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480
80...100	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585
100...120	-37	-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690
120...140	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800
140...160	-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900
160...180	-43	-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000
180...200	-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150
200...225	-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250
225...250	-50	-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350
250...280	-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550
280...315	-56	-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700
315...355	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900
355...400	-62	-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100
400...450	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400
450...500	-68	-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600

¹⁾ Za IT kvalitete do IT7, vrijednostima iz tablice treba dodati Δ iz tablice 4.13.

Tablica 4.15. Donje odstupanje EI za položaje tolerancijskih polja **D** do **JS** za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm i za sve IT kvalitete

N, mm	Donje odstupanje EI , μm					
	D	E	F	G	H	JS
500...630	+260	+145	+76	+22	0	
630...800	+290	+160	+80	+24	0	
800...1000	+320	+170	+86	+26	0	¹⁾
1000...1250	+350	+195	+98	+28	0	
1250...1600	+390	+220	+110	+30	0	
1600...2000	+430	+240	+120	+32	0	
2000...2500	+480	+260	+130	+34	0	
2500...3150	+520	+290	+145	+38	0	

¹⁾ Donje odstupanje $EI = -0,5 \cdot T$, ovisno o IT kvaliteti (opaska ispod tablice 4.12.)

Tablica 4.16. Gornje odstupanje ES za položaje tolerancijskih polja **K** do **U** za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm

N, mm	Gornje odstupanje ES , μm							
	Sve IT kvalitete			IT kvalitete iznad IT7 ¹⁾				
	K	M	N	P	R	S	T	U
500...560	0	-26	-44	-78	-150	-280	-400	-600
560...630	0	-26	-44	-78	-155	-310	-450	-660
630...710	0	-30	-50	-88	-175	-340	-500	-740
710...800	0	-30	-50	-88	-185	-380	-560	-840
800...900	0	-34	-56	-100	-210	-430	-620	-940
900...1000	0	-34	-56	-100	-220	-470	-680	-1050
1000...1120	0	-40	-66	-120	-250	-520	-780	-1150
1120...1250	0	-40	-66	-120	-260	-580	-840	-1300

¹⁾ Za IT kvalitete do IT7, vrijednostima iz tablice treba dodati Δ iz tablice 4.13.

Tablica 4.16. Gornje odstupanje *ES* za položaje tolerancijskih polja K do U za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm (nastavak)

N, mm	Gornje odstupanje <i>ES</i> , μm							
	Sve IT kvalitete			IT kvalitete iznad IT7 ¹⁾				
	K	M	N	P	R	S	T	U
1250...1400	0	-48	-78	-140	-300	-640	-960	-1450
1400...1600	0	-48	-78	-140	-330	-720	-1050	-1600
1600...1800	0	-58	-92	-170	-370	-820	-1200	-1850
1800...2000	0	-58	-92	-170	-400	-920	-1350	-2000
2000...2240	0	-68	-110	-195	-440	-1000	-1500	-2300
2240...2500	0	-68	-110	-195	-460	-1100	-1650	-2500
2500...2800	0	-76	-135	-240	-550	-1250	-1900	-2900
2800...3150	0	-76	-135	-240	-580	-1400	-2100	-3200

¹⁾ Za IT kvalitete do IT7, vrijednostima iz tablice treba dodati Δ iz tablice 4.13.

Iz prethodno izloženog može se zaključiti da ISO sustav tolerancija obuhvaća tolerancijska polja u svim položajima od **a** do **zc** i od **A** do **ZC**, te svako sa svim osnovnim tolerancijama od IT01 do IT16. Međutim, s obzirom na praktičnu potrebu da broj mjerila bude što manji, u praksi se upotrebljava samo nekoliko najprikladnijih tolerancijskih polja.

U tablici 4.17. i tablici 4.18. dane su vrijednosti onih tolerancijskih polja za provrte i osovine koje, prema iskustvu u strojarstvu, većinom zadovoljavaju u svim primjerima (a odgovaraju 1. i 2. stupnju prioriteta dopuštenih dosjeda prema HRN H.A1.200 do HRN H.A1.203).

Za dvadeset IT kvaliteta, dvadesetčetiri položaja tolerancijskih polja daju po ISO sustavu mogućnost uporabe 480 različitih tolerancija. Proizvodna poduzeća nastoje broj tolerancija svesti na prihvatljiv broj, čime bi se smanjio potreban broj različitih alata, naprava i mjernih uređaja, što na kraju pojeftinjuje proizvode. Hrvatske norme daju preporuke za izbor tolerancijskih polja, pa se npr. prema HRN M.A1.140 daju preporuke za izmjere do 500 mm, a prema HRN M.A1.141 za izmjere od 500 do 3150 mm, što je dano i u tablicama 4.19 do 4.21.

Tablica 4.17. Tolerancije provrta prema HRN M.A1.170...177, μm

Nazivna izmjera, mm	A11	C11	D11	E9	F7	G7	H7	H8	H9	H11	J7	K7	N7	P7	R7	U8	X8	
0 ... 3	+330	+120	+60	+39	+16	+12	+10	+14	+25	+60	-6		-13	-6	-19		-20	
	+270	+60	+20	+14	+6	+3	0	0	0	0	+3		-4	-16	-10		-34	
3 ... 6	+345	+145	+78	+50	+22	+16	+12	+18	+30	+75	-7		-16	-8	-23		-28	
	+270	+70	+30	+20	10	+4	0	0	0	0	+5		-4	-20	-11		-46	
6 ... 10	+370	+170	+98	+61	+28	+20	+15	+22	+36	+90	-7	-10	-19	-9	-28		-34	
	+280	+80	+40	+25	+13	+5	0	0	0	0	+8	+5	-4	-24	-13		-56	
10 ... 14	+400	+205	+120	+75	+34	+24	+18	+27	+43	+110	-8	-12	-23	-11	-34		-40	
	+290	+95	+50	+32	+16	+6	0	0	0	0	+10	+6	-5	-29	-16		-67	
14 ... 18																	-45	
																		-72
18 ... 24	+430	+240	+149	+92	+41	+28	+21	+33	+52	+130	-9	-15	-28	-14	-41		-54	
	+300	+110	+65	+40	+20	+7	0	0	0	0	+12	+6	+7	-35	-20		-87	
24 ... 30																	-48	
																		-81
																		-97
30 ... 40	+470	+280	+180	+112	+50	+34	+25	+39	+62	+160	-11	-18	-33	-17	-50	-60	-80	
	+310	+120	+80	+50	+25	+9	0	0	0	0	+14	+7	-8	-42	-25	-99	-119	
40 ... 50	+480	+290																-70
	+320	+130																-109
																		-139

Tablica 4.17. Tolerancije provrta prema HRN M.A1.170...177, μm (nastavak)

Nazivna izmjera, mm	A11	C11	D11	E9	F7	G7	H7	H8	H9	H11	J7	K7	N7	P7	R7	U8	X8
50 ... 65	+530 +340	+330 +140	+220 +100	+134 +60	+60 +30	+40 +10	+30 0	+46 0	+74 0	+190 0	-12 +18	-21 +9	-39 -9	-21 -51	-60 -30	-87 -133	-122 -168
65 ... 80	+550 +360	+340 +150														-62 -32	-102 -148
80 ... 100	+600 +380	+390 +170	+260 +120	+159 +72	+71 +36	+47 +12	+35 0	+54 0	+87 0	+220 0	-13 +22	-25 +10	-45 -10	-24 -59	-73 -38	-124 -178	-178 -232
100 ... 120	+630 +410	+400 +180														-76 -41	-144 -198
120 ... 140	+710 +460	+450 +200	+305 +145	+185 +85	+83 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	-14 +26	-28 +12	-52 -12	-28 -68	-88 -48	-170 -233	-248 311
140 ... 160	+770 +310	+460 120														-90 -50	-190 -253
160 ... 180	+830 +580	+480 +230														-93 -53	-210 -273
180 ... 200	+950 +660	+530 +240	+355 +170	+215 +100	+96 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	-16 +30	-33 +13	-60 -14	-33 -79	-106 -60	-236 -308	-350 -422
200 ... 225	+1030 +740	+550 +260														-109 -63	-258 -330
225 ... 250	+1110 +820	+570 +280														-113 -67	-284 -356
250 ... 280	+1240 +20	+620 +300	+400 +190	+240 +110	+108 +56	+69 +17	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0	-16 +36	-36 +16	+66 +14	-36 -88	-126 -74	-315 -396	-475 -556
280 ... 315	+1370 +1050	+650 +330														-130 -78	-350 -431
315 ... 355	+1560 +1200	+720 +360	+440 +210	+265 +125	+119 +62	+75 +18	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0	-18 +39	-40 +17	-73 -16	-41 -98	-144 -87	-390 -479	-590 -679
355 ... 400	+1710 +1350	+760 +400														-150 -93	-435 524

Tablica 4.18. Tolerancije osovine prema HRN M.A1.150...158, μm

Nazivna izmjera, mm	a11	c11	d11	e9	f7	g6	h6	h8	h9	h11	j6	k6	n6	p6	r6	u8	x8
0 ... 3	-270 -330	-60 -120	-20 -45	-14 -39	-6 -16	-2 -8	0 -6	0 -14	0 -25	0 -60	+4 -2		+10 +4	+12 +6	+16 +10		+34 +20
3 ... 6	-270 -345	-70 -145	-30 -60	-20 -50	-10 -22	-4 -12	0 -8	0 -18	0 -30	0 -75	+6 -2		+16 +8	+20 +12	+23 +15		+46 +28
6 ... 10	-280 -370	-80 -170	-40 -76	-25 -61	-13 -28	-5 -14	0 -9	0 -22	0 -36	0 -90	+7 -2	+10 +1	+19 +10	+24 +15	+28 +19		+56 +34
10 ... 14	-290 -400	-95 -205	-50 -93	-32 -75	-16 -34	-6 -17	0 -11	0 -27	0 -43	0 -110	+8 -3	+12 +1	+23 +12	+29 +18	+34 +23		+67 +40
14 ... 18																	+72 +45
18 ... 24	-300 -430	-110 -240	-65 -117	-40 -92	-20 -41	-7 -20	0 -13	0 -33	0 -52	0 -130	+9 -4	+15 +2	+28 +15	+35 +22	+41 +28		+87 +54
24 ... 30																	+81 +48
30 ... 40	-310 -470	-120 -280	-80 -142	-50 -112	-25 -50	-9 -25	0 -16	0 -39	0 -62	0 -160	+11 -5	+18 +2	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+99 +60	+119 +80
40 ... 50	-320 -480	-130 -290														+109 +70	+136 +97
50 ... 65	-340 -530	-140 -330	-100 -174	-60 -134	-30 -60	-10 -29	0 -19	0 -46	0 -74	0 -190	+12 -6	+21 +2	+39 +20	+51 +32	+60 41	+133 +57	+168 +122
65 ... 80	-360 -550	-150 -340														+62 +43	+148 +102
80 ... 100	-380 -600	-170 -390	-120 -207	-72 -159	-36 -71	-12 -34	0 -22	0 -54	0 -87	0 -220	+13 -9	+25 +3	+45 +23	+59 +337	+73 +51	+178 +124	+232 +178
100 ... 120	-410 -630	-170 -390														+76 +54	+198 +144

Tablica 4.18. Tolerancije osovine prema HRN M.A1.150...158, μm (nastavak)

Nazivna izmjera, mm	a11	c11	d11	e9	f7	g6	h6	h8	h9	h11	j6	k6	n6	p6	r6	u8	x8
120 ... 140	-460 -710	-200 -450	-145 -245	-85 -185	-43 -83	-14 -39	0 -25	0 -63	0 -100	0 -250	+14 -11	+28 +3	+52 +27	+68 +43	+88 +63	+233 +170	+311 +248
140 ... 160	-520 -770	-210 -460													+90 +65	+256 +190	+343 +280
160 ... 180	-580 -830	-230 -480													+93 +68	+273 +210	+373 +310
180 ... 200	-660 -950	-240 -530	-170 -285	-100 -215	-50 -96	-15 -44	0 -29	0 -72	0 -115	0 290	+16 -13	+33 +4	+60 31	79 +50	+106 +77	+306 +236	+422 +350
200 ... 225	-74 -1030	-260 -550													+109 +80	+330 +256	+357 +385
225 ... 250	-820 -1110	-280 -570													+113 +84	+356 +284	+497 +425
250 ... 280	-920 -1240	-300 -620	-190 -320	-110 -240	-56 -108	-17 -49	0 -32	0 -81	0 -130	0 -320	+16 -16	+36 +4	+66 +34	+88 +56	126 +94	+396 +315	+556 +457
280 ... 315	-1050 -1370	-330 -650													+130 +98	+431 +350	+606 +525
315 ... 355	-1200 -1560	-360 -720	-210 -350	-125 -265	-62 -119	-18 -54	0 -36	0 -89	0 -140	0 -360	+18 -18	+40 +4	+73 +37	+98 +62	+144 +108	+479 +390	+679 +590
355 ... 400	-1350 -1710	-400 -760													+150 +114	+524 +435	+749 +660

4.3. Tolerancije slobodnih izmjera

Izmjere kod kojih odstupanja od nazivnih vrijednosti praktično ne utječu na upotrebljivost dijelova nazivaju se *slobodnim izmjerama*. Ove se izmjere ostvaruju uobičajenim proizvodnim postupkom pa njihova odstupanja leže u granicama tog postupka obrade. Nazivne izmjere se na kotama upisuju bez navođenja položaja i veličine tolerancijskog polja. Tolerancije slobodnih izmjera se ne mogu propisati na temelju funkcije, jer veličina prekoračenja nazivne vrijednosti ne utječe na upotrebljivost ni na sigurnost dijela. Slobodne izmjere se odnose na dijelove koji ne tvore dosjede. Zato se slobodne izmjere ne toleriraju osim ako je potrebno stupanj točnosti ovih izmjera suziti.

Dopuštena odstupanja slobodnih izmjera za obrađene dijelove izrađene odvajanjem čestica i njihove izmjere navedene su u tablicama 4.22. do 4.23. (prema HRN M.A1.410), a njihova je veličina utvrđena prema ISO 2768 i svrstana u četiri stupnja točnosti:

- f - fini,
- m - srednji,
- c - grubi i
- v - vrlo grubi.

Dopuštena odstupanja izmjera odlijevaka od čeličnog, sivog i temperovanog lijeva, te dopuštena odstupanja debljine stijenki odlijevaka dana su u tablicama 4.24. do 4.27. (prema HRN M.A1.420).

Tolerancije slobodnih izmjera unose se u crtež u za to predviđeno polje (zaglavlja crteža) pomoću skraćene oznake stupnja točnosti, na primjer:

srednji HRN M.A1.410.

Da li je potrebno i u kojem opsegu provjeravanje dopuštenih odstupanja slobodnih izmjera dobivenih odvajanjem čestica, utvrđuje se internim propisima proizvođača. Naručitelj (kupac) odlučuje o prihvaćanju dijelova koji ne odgovaraju odredbama HRN M.A1.410.

Tablica 4.22. Tolerancije slobodnih duljinskih izmjera ostvarenih odvajanjem čestica

Područje nazivnih izmjera, mm	Stupanj točnosti			
	f	m	c	v
...3	±0,05	±0,1	±0,15	-
3...6	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5
6...30	±0,10	±0,2	±0,5	±1
30...120	±0,15	±0,3	±0,8	±1,5
120...315	±0,2	±0,5	±1,2	±2
315...1000	±0,3	±0,8	±2	±3
1000...2000	±0,5	±1,2	±3	±4
2000...4000	±0,8	±2	±4	±6
4000...8000	-	±3	±5	±8
8000...12000	-	±4	±6	±10
12000...16000	-	±5	±7	±12
16000...20000	-	±6	±8	±12

Prema ISO 2768 (1973) nisu obuhvaćena područja nazivnih izmjera iznad 2000 mm i nije obuhvaćena vrlo gruba kvaliteta.

Tablica 4.23. Tolerancije slobodnih duljinskih izmjera za polumjere zaobljenja i skošene rubove

Stupanj točnosti	Područje nazivnih izmjera, mm				
	...3	3...6	6...30	30...120	120...315
fini i srednji	±0,2	±0,5	±1	±2	±4
grubi i vrlo grubi	±0,2	±1	±2	±4	±8

Prema ISO 2768 (1973) nisu posebno predviđena dopuštena odstupanja za polumjere zaobljenja i skošeni rubovi.

Tablica 4.24. Tolerancije slobodnih izmjera za kutove upisane u crteže

Stupanj točnosti	Područje nazivnih izmjera (dužina kraćeg kraka), mm							
	...10		10...50		50...120		120...400	
	stupanj	mm na 100 mm	stupanj	mm na 100 mm	stupanj	mm na 100 mm	stupanj	mm na 100 mm
fini i srednji	±1°	±1,8	±30'	±0,9	±20'	±0,6	±10'	±0,3
grubi	±1° 30'	±2,6	±50'	±1,5	±25'	±0,7	±15'	±0,4
v vrlo grubi	±3°	±5,2	±2°	±3,5	±1°	±1,8	±30'	±0,9

Prema ISO 2768 (1973) nisu obuhvaćena područja iznad 120 do 400 mm, i obuhvaćena je samo jedna kvaliteta.

Ukoliko se može dopustiti veće odstupanje od onog što ga propisuju tolerancije slobodnih izmjera, treba to naznačiti na tehničkom crtežu kako kontrola ne bi odbacila strojni dio kao škart. Ako neka izmjera može npr. iznositi 15 do 20 mm, tada će na crtežu stajati tolerancija: 15^{+5}_0 . Ostala dopuštena odstupanja izmjera u strojogradnji dana su u tablici 4.29.

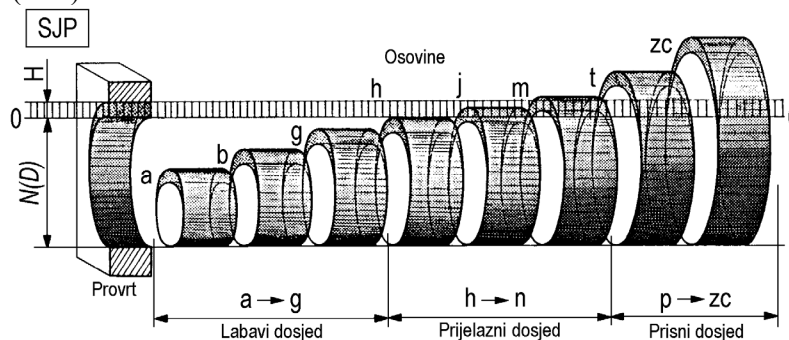
Tablica 4.29. Ostali norme dopuštenih odstupanja izmjera u strojogradnji

Dopuštena odstupanja izmjera odljevaka od čeličnog lijeva	HRN M.A1.421
Dopuštena odstupanja izmjera odljevaka od teških obojenih metala, lijevanih u pijesku	HRN M.A1.422
Dopuštena odstupanja izmjera odljevaka lakih obojenih metala, lijevanih u pijesku	HRN M.A1.423
Dopuštena odstupanja izmjera odljevaka od cinkovih legura lijevanih pod tlakom	HRN M.A1.424
Dopuštena odstupanja izmjera čeličnih otkovaka kovanih u kalupu	HRN M.A1.430
Dopuštena odstupanja izmjera otkovaka od bakra i bakarnih legura za gnijječenje	HRN M.A1.435
Dopuštena odstupanja izmjera vučenih i prešanih profila od bakra i bakarnih legura za gnijječenje	HRN M.A1.440
Dopuštena odstupanja od nazivne veličine promjera i razmaka rupa na ravnim dijelovima i profilima izrađenim od lima ili limenih traka	HRN M.A1.450
Dopuštena odstupanja izmjera pravokutnih ili kružnih dijelova izrezanih od čeličnih traka ili lima	HRN M.A1.451
Dopuštena odstupanja izmjera U, L i Z-profila izrađenih od čeličnih traka ili lima hladnim savijanjem	HRN M.A1.460
Dopuštena odstupanja izmjera U, L i Z-profila izrađenih od čeličnih traka ili lima hladnim prešanjem pomoću kalupa	HRN M.A1.461
Dopuštena odstupanja izmjera U, L i Z-profila izrađenih od čeličnih traka ili lima toplim prešanjem pomoću kalupa	HRN M.A1.462
Dopuštena odstupanja izmjera dubokih U-profila s obodom, izrađenog od čeličnih traka ili lima	HRN M.A1.463
Dopuštena odstupanja izmjera zdjelastih tijela, izrađenih od čeličnog lima toplim dubokim izvlačenjem	HRN M.A1.464
Ostale norme koje propisuju tolerancije slobodnih izmjera u strojogradnji	HRN M.A1.421 HRN M.A1.464

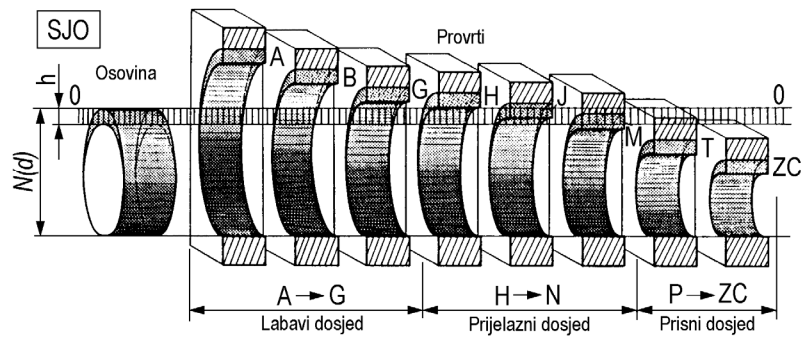
4.5. Dosjedi

4.5.1. Vrste, označavanje i pregled dosjeda

U ISO sustavu dosjedanje postoji gruba podjela na tri vrste dosjeda, od kojih je svaki s više stupnjeva: labavi, prijelazni i prisni. Shematski prikaz položaja tolerancijskih polja s obzirom na nazivnu izmjeru predložen je za sustav jedinstvenog provrta (SJP) na slici 4.8.a i slici 4.14., a za sustav jedinstvene osovine (SJO) na slici 4.8.b i slici 4.15.



Slika 4.14. Dosjedi kod sustava jedinstvenog provrta (SJP)



Slika 4.15. Dosjedi kod sustava jedinstvene osovine (SJO)

U tablici 4.30. dano je nazivlje stupnjeva dosjeda s obzirom na položaj tolerancijskog polja u sustavu jedinstvenog provrta (SJP) i sustavu jedinstvene osovine (SJO).

Tablica 4.30. Nazivlje dosjeda

DOSJEDI		Tolerancijska polja	
		SJP	SJO
LABAVI	Vrlo prostran	A	a
	Prostran	B	b
	Poluprostran	C	c
	Pomičan	D	d
	Polupomičan	E	e
	Povodljiv	F	f
	Polupovodljiv	G	g
PRIJELAZNI	Klizni	H	h
	Pogretni	J, Js	j, js
	Prilegli	K	k
	Stegnuti	M	m
	Uglavljeni	N	n
PRISNI	Zažeti	P, R, S	p, r, s
	Čvrsto zažeti	T, U, V	t, u, v
	Prezažeti	X, Y, Z	x, y, z
		ZA, ZB, ZC	za, zb, zc

Prema preporuci ISO, HRN M.A1.200 i 201 prednost kod primjene daje se dosjedima danim u tablici 4.31. i 4.32.

Tablica 4.31. Prioritetni dosjedi u sustavu jedinstvenog provrta (SJP)

POLJE	1. Prioritet	2. Prioritet	3. Prioritet
H6		j6, k6	g5, h5, j5, k5, m5, n5, p5, r5
H7	f7, h6, n6, r6	g6, j6, k6, s6	f6, m6, n6
H8	f7, h9, u8, x8	d9, e8	c9, f8, h8
H9	h9	c11, h11	d10, e9, f8, h8
H11	h9	a11, c11, d9, h11	b11, d11
H12			h12
H13			h13

4.5.2. Izbor tolerancija i dosjeda

Svaki strojni dio ima čitav niz izmjera, međutim tolerancije se obično propisuju za udaljenosti središnjica i obrađene plohe koje su od utjecaja na ugradnju i pravilno funkcioniranje. ISO sustav tolerancija s 21 slovom i 16 kvaliteta za svaki simbol teorijski omogućava spajanje osovine i provrta u dosjed gotovo prema slobodnom izboru ($21 \cdot 16 = 336$ vrsta dosjeda). U praktičnoj primjeni se ne koriste sve ove mogućnosti, već je broj dosjeda sužen na nešto preko 50. Neke tvornice idu na još užu primjenu, uglavnom zbog smanjenja troškova koji bi otpali na veliki broj alata i mjerila. Preporučljivi dosjedi za opće strojarstvo dani su u tablici 4.33.

Tablica 4.32. Prioritotni dosjedi u sustavu jedinetvne osovine (SJO)

POLJE	1. Prioritet	2. Prioritet	3. Prioritet
h5			G6, H6, J6, K6, M6, N6, P6, R6
h6	F8, H7	G7	F7, J7, K7, M7, N7, P7, R7, S7
h8	F8, H8		B9, C9, D9, E8, F9, H9
h9	C11, D10, E9, F8, H8	H11	H9
h11	C11, D10	A11, H11	B11, D9, D11, H9
h12			H12
h13			H13

Tablica 4.33. Preporučljivi dosjedi za opće strojarstvo

PROVRT	OSOVINA						
H6	g5	f6	e7	-	-	-	-
H7	g6	f7	e8	d8, d9	c8, c9	b8, b9	a9
H8	-	f8	e9	d10	-	-	-
H11	-	-	-	d11	c11	b11	a11
	Za točno vođenje osovine	Za najmanje gubitke trenja uz najveću nosivost ako je mala razlika pogonske temperature i temperature stanja mirovanja			Za miran hod i najmanje gubitke trenja, za veće razlike pogonske temperature, djelove koji su ponekad u pogonu, vodilice		
h5	G6	F6	E7	-	-	-	-
h6, h7	G7	F7	E8	D8, D9	C8, C9	B8, B9	A9
h8, h9	-	F8	E9	D10	-	-	-
h11	-	-	-	D11	C11	B11	A11
OSOVINA	PROVRT						

Ukoliko se zahtjeva velika točnost, potrebno je raspolagati specijalnim alatnim strojevima i predvidjeti višekratno upinjanje strojnog dijela pri obradi na više različitih strojeva, te znatno dulje vrijeme obrade. Ovakav zahtjev mora imati ekonomsku opravdanost. Gdje god je to moguće treba težiti uporabi što grubljih tolerancija i kvaliteta izrade, kako bi strojni dio bio što jeftiniji. Pri tome stalno treba imati na umu funkciju strojnog dijela. Na strože tolerancije i finije kvalitete izrade (niže vrijednosti u tablici 4.1.) treba ići onda kada granični slučajevi neobezbijeduju ispravnu funkciju dijelova. Pri izboru i usporedbi različitih dosjeda treba računati sa srednjim vrijednostima zračnosti ili prekomjera (prisnosti), a granične vrijednosti samo kontrolirati.