

# 3. Usvajanje elemenata

<b>3.1 Osnove usvajanja strojarskih elemenata.....</b>	<b>2</b>
3.1.1 Uvod .....	2
3.1.2 Usvajanje dimenzija strojarskih elemenata .....	4
3.1.3 Proračun statički opterećenog strojarskog elementa .....	8
3.1.4 Proračun dinamički opterećenog strojarskog elementa.....	10
<b>3.2 Norme.....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Norme u strojarstvu .....	12
3.2.2 ISO, EN, DIN i HRN norme .....	17
3.2.3 Normni brojevi.....	19
3.2.4 Normirani proračuni i normirani elementi strojeva.....	21
<b>3.3 Geometrija elemenata .....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Geometrija i površine elemenata.....	21
3.3.2 Tolerancije .....	27
3.3.3 Tolerancije dužinskih izmjera i tolerancijska polja.....	27
3.3.4 Tolerancije oblika i položaja.....	36
3.3.5 Sklopovi i dosjedi .....	41
3.3.6 Primjer proračuna tolerancija.....	51
<b>3.4 Inženjerska grafika.....</b>	<b>52</b>
3.4.1 Vrste inženjerske grafike .....	52
3.4.2 Prostorna grafika.....	52
3.4.3 Tehnički crteži .....	57
<b>3.5 Računalno podržano oblikovanje.....</b>	<b>61</b>
3.5.1 Osnove računalno podržanog oblikovanja .....	61
3.5.2 Namjena i pogodnosti programa AutoCAD.....	61
3.5.3 Namjena i pogodnosti programa SolidWorks .....	61
<b>Dodaci .....</b>	<b>63</b>

## *Ishodi učenja:*

1. Razumijevanje pojma usvajanje elemenata (*definicija i tehnologija*) i osnova usvajanja (*naprezanje, krutost i pouzdanost*).
2. Razumijevanje normiranja elemenata (*definicija i vrste*), i noriranja (*brojevi, proračuni, elementi*).
3. Razumijevanje geometrije elemenata (*površine elemenata, tolerancije i dosjedi*) i usvajanje označavanja geometrije na tehničkim crtežima.
4. Razumjevanje inženjerske grafike i usvajanje tehničkih crteža.
5. Razumijevanje računalno podržanog oblikovanja i usvajanje izrade jednostavnijih crteža u programima AutoCADu i Solid Works.

## 3.1 Osnove usvajanja strojarskih elemenata

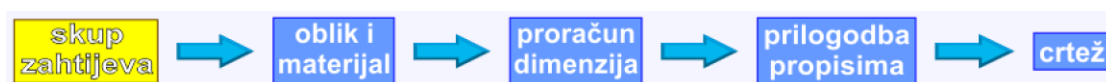
### 3.1.1 Uvod

Ovisno o zahtjevima, elementi se usvajaju na temelju normi:

1. međunarodnih,
2. nacionalnih,
3. granskih i
4. tvorničkih.

te podloga proizvođača (*katalozi, brošure, Internet stranice*).

Postupak usvajanja strojarskih elemenata počinje s utvrđivanjem skupa zahtjeva temeljenim na neophodnostima i pogodnostima, odvija se u koracima i završava s izrađenim tehničkim crtežima u skladu s pravilima tehničkog crtanja:



Pravilno oblikovanje strojarskih elemenata je specifično za pojedine vrste elemenata, a tijekom oblikovanja se i bira materijala za izradu elementa. Često korišteni strojarski elementi imaju normirane oblike.

Po utvrđenom obliku, temeljeno na prikupljenim podacima i nauci o čvrstoći izračunavaju se dimenzije strojarskog elementa. Često korišteni strojarski elementi imaju normirane dimenzije te se na temelju rezultata proračuna biraju standardne dimenzije.

Nakon usklađivanja dimenzija strojarskog elementa s normama obavlja se kontrolni proračun te konačno usvaja strojarski element.

**Konstruiranje** strojarskih elemenata obuhvaća sve korake od utvrđivanja zahtjeva do izrade tehničkih crteža. Dva su osobito važna koraka:

1. oblikovanje s usvajanjem materijala i
2. proračun s usvajanjem normiranih dimenzija.

Proračuni su različiti za statički i dinamički opterećene elemente.

Pri proračunu i usvajanju normiranih dimenzija elemenata mora se osigurati da s dovoljnom sigurnošću elementi mogu podnijeti unutarnja naprezanja izazvana vanjskim opterećenjima. Na najugroženijim presjecima elementa najveća moguća naprezanja ne smiju premašiti dozvoljene vrijednosti, koje ovise o:

- vrsti opterećenja i naprezanja,
- geometriji elementa,
- materijalu,

- greškama u materijalu,
- zaostalim unutarnjim naprezanjima,
- radnim temperature,
- djelovanja korozivski agresivne okoline.

Dimenzije elemenata ovise prije svega o vrsti mogućeg otkaza izazvanog u većini slučajeva:

- prevelikim deformacijama,
- lomom izazvanim preopterećenjem,
- lomom izazvanim umorom materijala,
- širenjem prskotine,
- nestabilnošću elementa,
- mehaničkom i/ili korozivskom istrošenošću,

Ako je moguća pojava otkaza uslijed više uzroka mora se svaki od njih provjeriti, te potom kao polaznu osnovu za proračun utvrditi najnepovoljniju moguću kombinaciju uvjeta.

Pri proračunima treba imati u vidu da tijekom pogona na elemente djeluju namjerna i slučajna opterećenja. Namjerna su opterećenja neizbježne posljedice obavljanja funkcija dok su slučajna opterećenja posljedica nepoželjnih procesa. Ovisno o djelovanju sila i momenata u elementima se javljaju normalna i/ili tangencijalna naprezanja:

Različiti usvajani elementi moraju ispunjavati niz različitih postavljenih zahtjeva. Dio je zahtjeva od opće važnosti ispunjava se prikladnim **oblikovanjem** strojarskih elemenata skladno:

3. funkciji elementa,
4. čvrstoći i otpornosti elementa,
5. korištenom konstrukcijskom materijalu,
6. tehnologiji izrade elementa,
7. puštanju u rad,
8. montaži/demontaži,
9. recikličnosti,
10. estetici i
11. cijeni.

Oblikovanjem se određuje materijal za izradu elementa i orijentacijska najpogodnija geometrija elementa. Točnije određivanje dimenzija dijelova elementa određuje se na temelju proračuna i propisa.

Oblikovani element se konstruira:

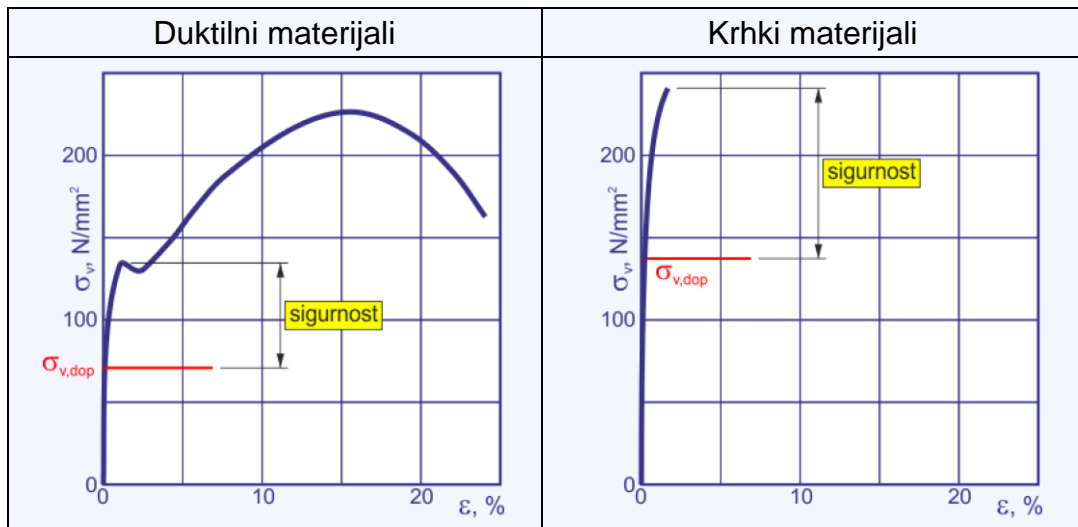
1. proračun oblikovanog elementa,
2. usvaja dimenzija oblikovanog elementa,

3. kontrolni proračun elementa s usvojenim dimenzijama i
4. izrada tehničkih nacрта.

### 3.1.2 Usvajanje dimenzija strojarskih elemenata

Kod **statički opterećenih elemenata** su za praktične proračune mjerodavni:

- (a) granice razvlačenja,  $R_e$ , kod elemenata izrađenih od duktilnih materijala i
- (b) čvrstoće,  $R_m$ , kod elemenata izrađenih od krhkih materijala.



U općem je slučaju:

$$\text{aktualno naprezanje} \leq \text{dozvoljenog naprezanja} = \frac{\text{granična vrijednost materijala}}{\text{faktor sigurnosti}}$$

Duktilni materijali	Krhki materijali
$\sigma_z \leq \sigma_{z,doz} = \frac{R_{e,N}}{S_{F,min}}$ ili $\sigma_z \leq \sigma_{z,doz} = \frac{R_{p0,2,N}}{S_{F,min}}$	$\sigma_z \leq \sigma_{z,doz} = \frac{R_{m,N}}{S_{B,min}}$
$S_{F,min}$ – minimalna sigurnost od rastezanja	$S_{B,min}$ – minimalna sigurnost od loma

Vrijednosti  $R_{p,N}$  i  $R_{m,N}$  su date u tablicama.

Kada su za materijal raspoloživi samo rezultati statičkih ispitivanja na vlak mogu se kod orijentacijskih proračuna koristiti dozvoljene vrijednosti koje se dobiju za druge vrste naprezanja preračunavanjem.

Kod **dinamički opterećenih elemenata**, kada isprva nisu poznati detalji, u orijentacijskom proračunu se uzimaju veći koeficijenti sigurnosti:

$$\sigma \leq \sigma_{doz} = \frac{\sigma_D}{S_{D,min}} \text{ ili } \tau \leq \tau_{doz} = \frac{\tau_D}{S_{D,min}}$$

gdje je:  $S_{D,min}$  – minimalna sigurnost od loma uslijed umora,  
 $\sigma_D$  i  $\tau_D$  – dinamička čvrstoća.

Ovisno o zahtjevima, nakon proračuna, dimenzije dijelova elementa se prilagođavaju propisima:

5. zakonima,

- normama,
- međunarodnim,
- nacionalnim,
- granskim,
- tvorničkim.

6. preporukama i

7. podlogama proizvođača materijala i dijelova.

te konačno usvaja geometrija konstruiranog elementa

**Kontrolnim proračunom** se provjerava da li su usvojenom geometrijom ispunjeni svi relevantni zahtjevi i propisi.

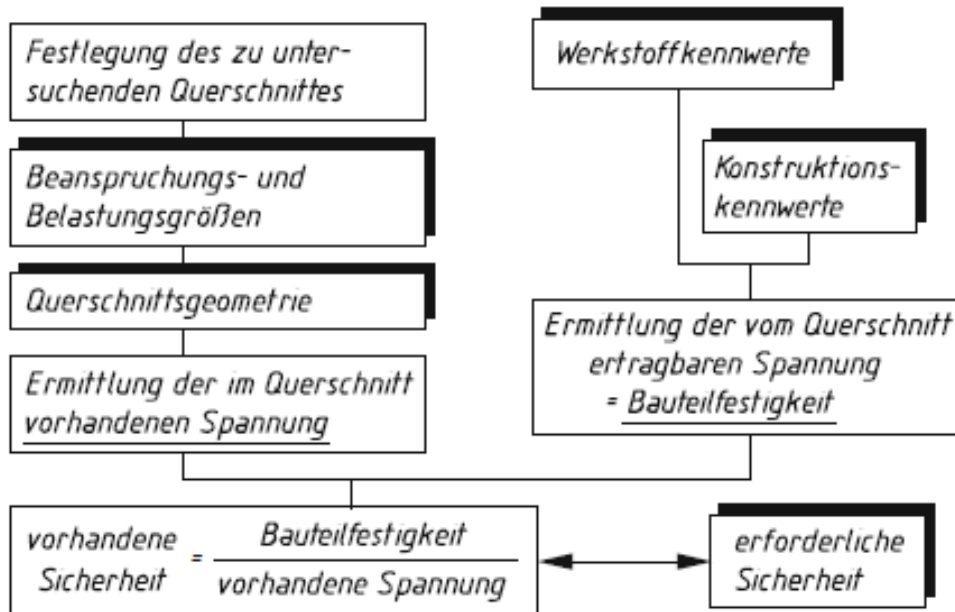
Pri proračunu i usvajanju dimenzija elemenata mora se osigurati da s dovoljnom sigurnošću elementi mogu podnijeti unutarnja naprezanja izazvana vanjskim opterećenjima. Na najugroženijim presjecima elementa najveća moguća naprezanja ne smiju premašiti dozvoljene vrijednosti, koje ovise o:

- materijala,
- vrste opterećenja i naprezanja,
- zaostalih unutarnjih naprezanja (*mehanička i toplinska obrada komada*),
- geometrije elementa,
- grešaka u materijalu,
- radne temperature,
- djelovanja korozijski agresivne okoline.

Dimenzije elemenata ovise prije svega o vrsti mogućeg otkaza (element ne može obaviti funkciju) izazvanog u većini slučajeva:

- prevelikim deformacijama,
- lomom izazvanim preopterećenjem,
- lomom izazvanim umorom materijala,
- širenjem prskotine (*mehanika loma*),
- nestabilnošću (*izvijanje, ispupčenje*),
- mehaničkom istrošenošću (*adhezijsko trošenje, abrazija*),
- kemijskom agresijom okoline (*korozija*).

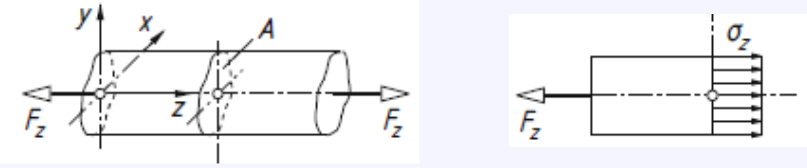
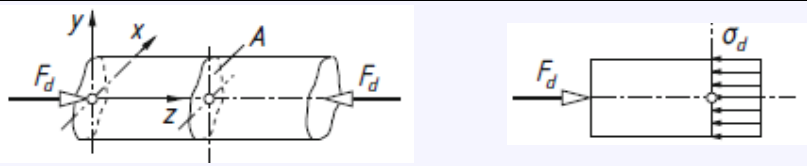
Ako je moguća pojava otkaza uslijed više uzroka mora se svaki od njih provjeriti, te potom kao polaznu osnovu za proračun utvrditi najnepovoljniju moguću kombinaciju uvjeta. Sama čvrstoće se može provjeriti prema shemi prikazanoj na **S-3.1** [Wittel (2011) str. 37].



**Slika 3.1** Shematski opis proračuna čvrstoće

Tijekom pogona na elemente djeluju namjerna i slučajna opterećenja. Namjerna su opterećenja neizbježne posljedice obavljanja funkcija dok su slučajna opterećenja posljedica nepoželjnih procesa (*titranja, udari, zaostala naprezanja*). Ovisno o djelovanju sila i momenata u elementima se javljaju normalna i/ili tangencijalna naprezanja. U **T-3.1 (a)** i **(b)** dati su pregledi osnovnih normalnih i tangencijalnih naprezanja [Wittel (2011) str. 38].

**Tablica 3.1 (a)** Pregled osnovnih normalnih naprezanja

	Opterećenja i naprezanja	Formule
Normalna naprezanja	rastezanje i vlačno naprezanje	
		$\sigma_z = \frac{F_z}{A}$
	sabijanje i tlačno naprezanje	
	$\sigma_d = \frac{F_d}{A}$	
	savijanje i savojno naprezanje	

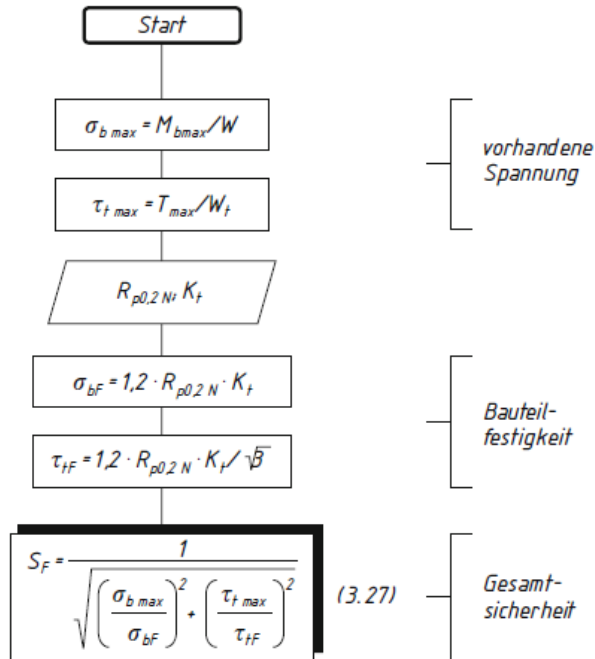
			$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$ $W_d = \frac{I_x}{e}$
--	--	--	--

Tablica 3.1 (b) Pregled osnovnih tangencijalnih naprezanja

	Opterećenja i naprezanja	Formule	
Tangencijalna naprezanja	smicanje i smično naprezanje		
			$\tau_{sm} = \frac{F_s}{A}$
	uvijanje i uvojno naprezanje		
		$\tau_t = \frac{T}{W_t}$	

### 3.1.3 Proračun statički opterećenog strojarskog elementa

Der statische Festigkeitsnachweis wird zum Vermeiden von bleibenden Verformungen, Anriss oder Gewaltbruch geführt. Da bei duktilen Werkstoffen (z. B. Bau- und Vergütungsstähle) auch bei gehärteten Randschichten keine Anrisse und kein Gewaltbruch vor einer bleibenden Verformung zu erwarten ist, ist der statische Nachweis als Grundnachweis zu betrachten. Er erfolgt zweckmäßig nach **Bild 3-31**.



**Bild 3-31**

Vereinfachter statischer Festigkeitsnachweis gegen Fließen (duktile Rundstäbe; Biegung und Torsion)

Bei spröden Werkstoffen ist die Vergleichssicherheit mit der Normalspannungshypothese analog Gl. (3.23) zu bilden, wobei anstelle der Fließ- die Bruchgrenze einzusetzen ist. Soll der Nachweis unter Ausnutzung der vollen „Tragreserven“ des Bauteils erfolgen (Verformung in den plastischen Bereich, s. 3.4), so ist der Nachweis gegen Fließen und gegen Bruch nach Gl. (3.10) durchzuführen. Der ungünstigste Fall ist maßgebend.

Für die Sicherheiten gilt:

$$S_F \geq S_{F\ min} \quad \text{bzw.} \quad S_B \geq S_{B\ min} \quad (3.28)$$

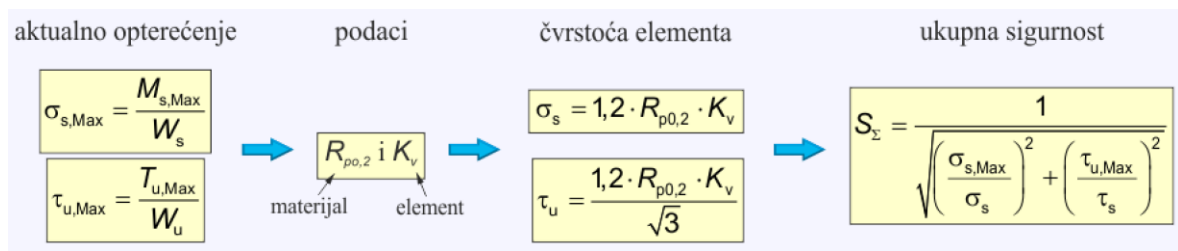
$S_{F\ min}$ ,  $S_{B\ min}$  erforderliche Mindestsicherheit gegen Fließen bzw. Bruch, Werte s. **TB 3-14**

*Hinweis:* Der statische Festigkeitsnachweis sollte mit den Maximalwerten  $T_{max}$  und  $M_{b\ max}$  geführt werden (s. **Bild 3-8**).

Proračunom statički opterećenog strojarskog elementa određuju se dimenzije kojim se sprječavaju pojave trajnog deformiranja, pukotina ili lomova. Kod duktilnih materijala i kod otvrdnutih rubnih slojeva, kod kojih se ne očekuju pojave pukotina i lomova prije pojava trajnih deformacija, statički je proračun temelj za određivanje dimenzija.

Za savijanje i uvijanje duktilnog strojnog elementa je tijekom proračuna:



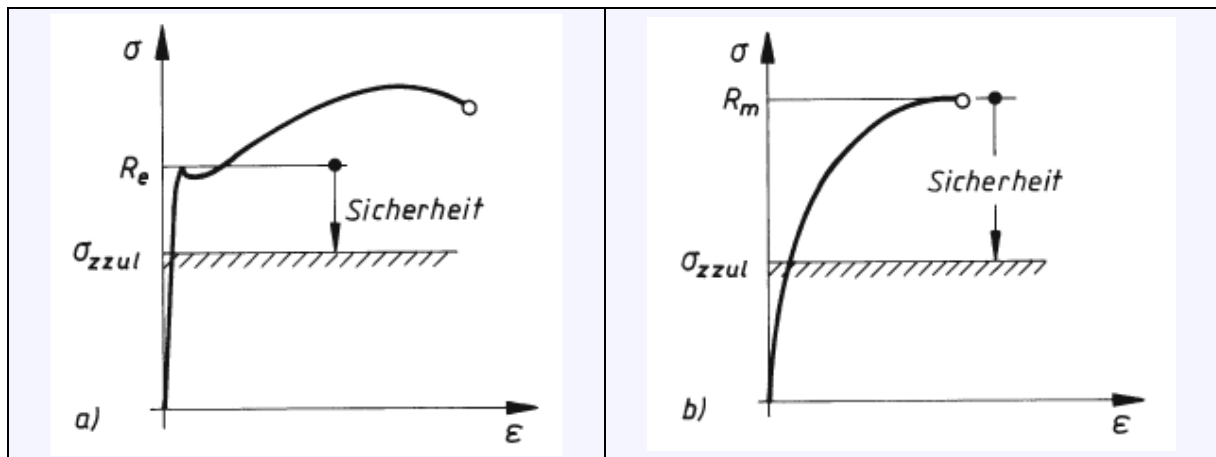


Usvajanjem odgovarajućih dimenzija mora se ispuniti uvjet:

$$S_\Sigma \geq S_{min}$$

Kod statički opterećenih elemenata su za praktične (*orijentacijski*) proračune mjerodavni:

- granice razvlačenja ( $R_e$ ) kod elemenata izrađenih od duktilnih materijala (*čelik, čelični ljev, aluminij, Al legure, bakar, Cu legure*) **S-3.2**, (a),
- čvrstoće ( $R_m$ ) kod elemenata izrađenih od krhkih materijala (*sivi ljev, drvo keramika*) **S-3.2**, (b).



**Slika 3.2** Dozvoljena naprezanja pri statičkim opterećenjima

(a) duktilni materijali, (b) krhki materijali

U općem je slučaju:

$$\text{aktualno naprezanje} \leq \text{dozvoljenog naprezanja} = \frac{\text{granična vrijednost materijala}}{\text{faktor sigurnosti}}$$

Proračunska formula je za duktilne materijale:

$$\sigma_z \leq \sigma_{z,doz} = \frac{R_{e,N}}{S_{F,min}} \quad \text{ili} \quad \sigma_z \leq \sigma_{z,doz} = \frac{R_{p0,2,N}}{S_{F,min}}$$

gdje je:  $S_{F,min}$  – minimalna sigurnost od rastezanja,

a za krhke materijale:

$$\sigma_z \leq \sigma_{z,doz} = \frac{R_{m,N}}{S_{B,min}}$$

gdje je:  $S_{B,min}$  – minimalna sigurnost od loma.

Vrijednosti  $R_{p,N}$  i  $R_{m,N}$  su date u tablicama **PT 3.1**, **PT 3.2**, **PT 3.3** i **PT 3.4**.

Kada su za materijal raspoloživi samo rezultati statičkih ispitivanja na vlak mogu se kod orijentacijskih proračuna koristiti dozvoljene vrijednosti koje se dobiju za druge vrste naprezanja preračunavanjem na temelju izraza iz **T-3.2**.

**Tablica 3.3** Dozvoljena statička naprezanja za orijentacijske proračune

Beanspruchungsart		Werkstoff					
		duktil (zäh)			spröde		
		Stahl, GS, Cu-Leg.	Al-Knet- legierung	Al-Guss- legierung	GJL	GJM	GJS
Zug		$R_e (R_{p0,2})$			$R_m$		
Druck	$R_{ed} \approx$	$R_e$	$R_e$	$1,5 \cdot R_e$	$2,5 \cdot R_m$	$1,5 \cdot R_m$	$1,3 \cdot R_m$
Biegung	$\sigma_{bF} \approx$	$1,1 \cdot R_e$	$R_e$	$R_e$	$R_m$	$R_m$	$R_m$
Schub	$\tau_{sF} \approx$	$0,6 \cdot R_e$	$0,6 \cdot R_e$	$0,75 \cdot R_e$	$0,85 \cdot R_m$	$0,75 \cdot R_m$	$0,65 \cdot R_m$
Torsion	$\tau_{tF} \approx$	$0,65 \cdot R_e$	$0,6 \cdot R_e$	–	–	–	–

Kod dinamički opterećenih elemenata, kada isprva nisu poznati detalji (*djelovanje zarez, veličine, površine*), u orijentacijskom proračunu se uzimaju veći koeficijenti sigurnosti:

$$\sigma \leq \sigma_{doz} = \frac{\sigma_D}{S_{D,min}} \quad \text{ili} \quad \tau \leq \tau_{doz} = \frac{\tau_D}{S_{D,min}}$$

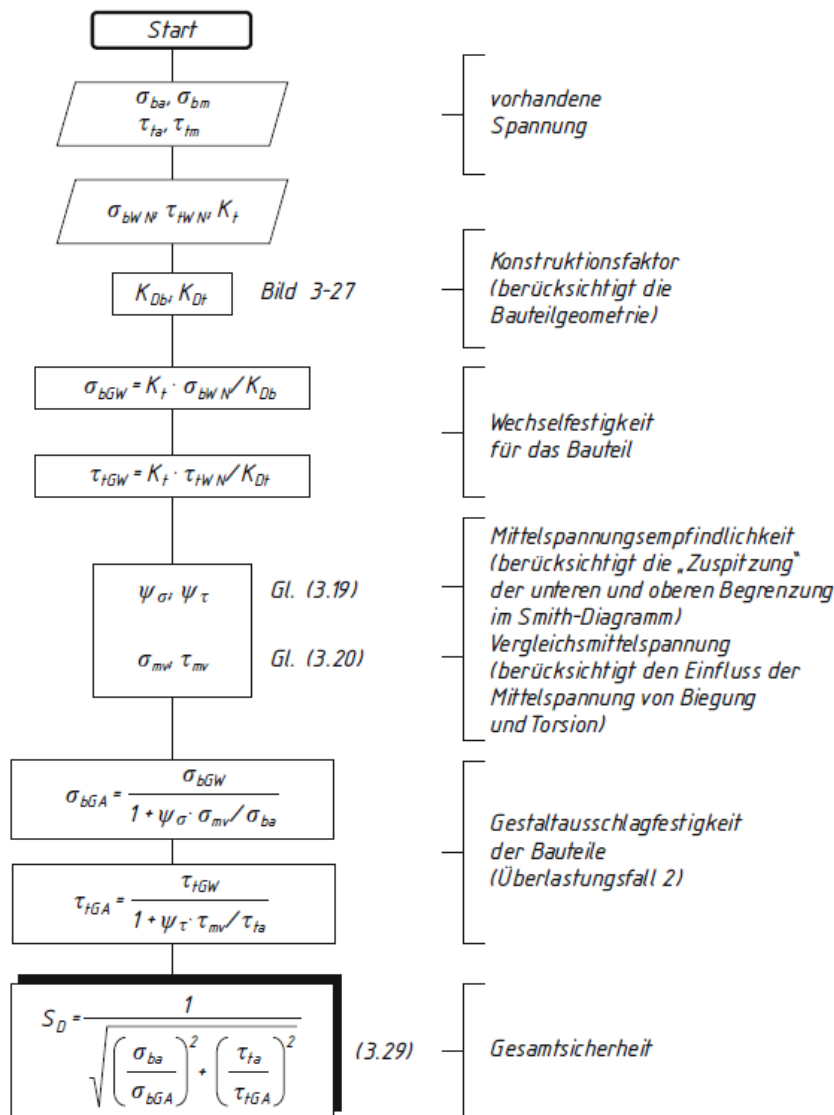
gdje je:  $S_{D,min}$  – minimalna sigurnost od loma uslijed umora,

$\sigma_D$  i  $\tau_D$  – dinamička čvrstoća iz **PT 3.1**.

Orijentaciono proračunate dimenzije elementa se odnose na presjeke oslabljene zarezima. Prema tome, kod vratila s utorom je proračunati promjer jednak nazivnom promjeru ?. Vrijednosti  $\sigma_D$  i  $\tau_D$  racionalno se zaokružuju.

### 3.1.4 Proračun dinamički opterećenog strojarskog elementa

Der prinzipielle Ablauf des dynamischen Festigkeitsnachweises ist in **Bild 3-32** für den Überlastungsfall 2 dargestellt.



**Bild 3-32**  
 Dynamischer Festigkeitsnachweis für Überlastungsfall 2 (duktile Rundstäbe, Biegung und Torsion)

Bei spröden Werkstoffen ist wie beim statischen Nachweis die Vergleichssicherheit mit der Normalspannungshypothese analog Gl. (3.23) zu bilden. Für die Gesamtsicherheit gilt

$$S_D \geq S_{D\min} \quad (3.30)$$

$S_{D\min}$  erforderliche Mindestsicherheit gegen Dauerbruch, Werte s. **TB 3-14**

Werden im Ablaufplan von **Bild 3-32** die statischen Anteile der Spannungen  $\sigma_{bm} = 0$  bzw.  $\tau_{tm} = 0$  gesetzt, ergibt sich ein wesentlich vereinfachter Berechnungsalgorithmus, da die Berechnung der Mittelspannungsempfindlichkeit und Vergleichsmittelspannung entfallen und damit die Gestaltwechselfestigkeit gleich der Gestaltausschlagfestigkeit wird. Diese Vereinfachung wird der dynamischen Berechnung der Achsen und Wellen in Kapitel 11 zugrunde gelegt. Die Ergebnisse werden damit unsicherer. Aus diesem Grund wird in Kapitel 11 eine höhere erforderliche Sicherheit  $S_{D\text{erf}}$  angesetzt

$$S_{D\text{erf}} = S_{D\min} \cdot S_z \quad (3.31)$$

$S_{D\min}$  erforderliche Mindestsicherheit gegen Dauerbruch, Werte s. **TB 3-14a**

$S_z$  Sicherheitsfaktor zur Kompensierung der Berechnungsvereinfachung, Werte s. **TB 3-14c**

*Hinweis:* Für den dynamischen Festigkeitsnachweis sind die Ausschlagspannungen  $\sigma_{ba}$  und  $\tau_{ta}$  unter Berücksichtigung des Anwendungsfaktors  $K_A$  zu berechnen. Die höheren, selten auftretenden Maximalwerte  $T_{\max}$  und  $M_{\max}$  führen nicht zum Dauerbruch.

## Proračun

### Norme i podloge proizvođača

## 3.2 Norme

### 3.2.1 Norme u strojarstvu

U prvoj fazi razvoja strojarstva svaki je element bio konstruiran te potom i izrađen kao specijalni slučaj za potrebe aktualnog stroja. Danas je usklađeno djelovanje različitih sudionika preduvjet optimalnog odvijanja procesa oblikovanja elemenata. Usklađeno je djelovanje moguće ako svi sudionici na jednoznačan način razmjenjuju informacije primjenom odgovarajućih normi.

Normizacija olakšava rad konstruktorima i tehnolozima – ne trebaju iznova rješavati iste probleme. Pored toga normizacija omogućava:

- velikoserijsku i masovnu proizvodnju na automatiziranim obradnim strojevima,
- lakše projektiranje i konstruiranje,
- lakšu organizaciju proizvodnje,
- smanjenje skladišta materijala, poluproizvoda i alata,
- jednostavnu zamjenu elemenata kojima je istekao vijek trajanja.

**Normizacija** – proces usvajanja prihvaćanja i poštivanja normi u cilju dostizanja optimalne ekonomičnosti u ispunjavanju zahtjeva funkcionalnosti i sigurnosti. Zasnovana na provjerenim rezultatima znanosti, tehnike i iskustva, te sporazumu svih zainteresiranih.

**Norma** – propis koji je prihvaćen sporazumno i potvrđen od strane nadležne institucije ili tvrtke. Načelno je norma neobavezna, a obvezatnost proizlazi iz obvezujućih dokumenata.

Razlikuju se norme:

- osnovne – opće odredbe za određeno široko područje,
- za sporazumijevanje – obuhvaća definicije određenih izraza, oznake, naziva, simbola, jedinica
- za sistematizaciju – podjela na vrste, grupe i klase.
- za proračune – propisuje postupak proračuna koji se mora provesti da bi se osigurala funkcionalnost elementa.
- za proizvode – propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati proizvod kako bi se osigurala namjena,
- za procese – propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati proizvodnja kako bi se osigurala namjena,
- za ispitivanja – obuhvaća uzimanje uzoraka, provedbe metoda ispitivanja, obradu rezultata mjerenja i prikazivanje dobivenih rezultata,

Prema normi DIN 820, normizacija je planski zajednički provedeni rad svih zainteresiranih krugova na standardizaciji. [*Haberhauer (2011), str 36-53*]

Normung ist nach DIN 820 die planmäßige, unter Beteiligung aller jeweils interessierten Kreise gemeinschaftlich durchgeführte Vereinheitlichungsarbeit auf gemeinnütziger Grundlage. Sie erstrebt eine rationelle Ordnung und ein rationelles Arbeiten in Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Verwaltung, indem Begriffe, Erzeugnisse, Vorschriften, Verfahren usw. festgelegt, geordnet und vereinheitlicht werden. So werden auch Maschinenelemente, die bereits eine technische Reife erlangt haben (z. B. Schrauben) standardisiert. Dadurch wird eine wirtschaftliche Herstellung in großen Stückzahlen und die Austauschbarkeit ohne spezielles Anpassen der Teile garantiert. Erst dadurch ist die rationelle Fertigung von Massengütern möglich.

U prvoj fazi razvoja strojarstva svaki je element bio konstruiran te potom i izrađen kao specijalni slučaj za potrebe aktualnog stroja.

Danas je usklađeno djelovanje različitih sudionika preduvjet optimalnog odvijanja procesa oblikovanja (*proizvodnje, uporabe i održavanja*) elemenata.

Usklađeno je djelovanje moguće ako svi sudionici na jednoznačan način razmjenjuju informacije primjenom odgovarajućih normi.

Osobito značajan način razmjene informacije je grafička komunikacija (*po količini pohranjene informacije, slika znatno nadilazi govor ili tekst*).

Normizacija je proces usvajanja (*razrada do optimalne varijante*) prihvaćanja i poštivanja normi u cilju dostizanja optimalne ekonomičnosti u ispunjavanju zahtjeva funkcionalnosti i sigurnosti. Zasnovana na provjerenim rezultatima znanosti, tehnike i iskustva (*na jednoj strani*), te sporazuma svih zainteresiranih (*na drugoj strani*).

Norma – propis koji je prihvaćen sporazumno i potvrđen od strane nadležne institucije (*međunarodne, državne, regionalne, strukovne*) ili tvrtke. Načelno je norma neobavezna (*svatko je dobrovoljno upotrebljava*), a obvezatnost proizlazi iz obvezujućih dokumenata (*zakoni, tehnički propisi, ugovori*).

Razlikuju se:

- **osnovne norme** – opće odredbe za određeno široko područje,
- **terminološke norme** – obuhvaća definicije određenih izraza,
- **standard za proračun** – propisuje postupak proračuna koji se mora provesti da bi se osigurala funkcionalnost elementa.
- **norme za proizvode** – propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati proizvod kako bi se osigurala namjena,
- **norme za procese** – propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati proizvodnja (*proces*) kako bi se osigurala namjena,
- **norme ispitivanja** – obuhvaća uzimanje uzoraka, provedbe metoda ispitivanja, obradu rezultata mjerenja i prikazivanje dobivenih rezultata,

Dem Inhalt nach beziehen sich die Normen auf:

- *Verständigungsmittel*: Begriffe, Bezeichnungen, Benennungen, Symbole, Einheiten, Formelzeichen u.dgl.
- *Klassifizierung*: Einteilung in bestimmte Sorten, Gruppen und Klassen.

- *Stufung*: Typung bestimmter Erzeugnisse nach Art, Form, Größe oder sonstigen gemeinsamen Merkmalen.
- *Planung*: Grundlagen für Entwurf, Berechnung, Aufbau, Ausführung und Funktion von Anlagen und Erzeugnissen.
- *Konstruktion*: Gesichtspunkte und Einzelteile für technische Gegenstände oder ihre Teile.
- *Maße*: Abmessungen von Erzeugnissen.
- *Stoffe*: Eigenschaften, Einteilung und Verwendung.
- *Qualitätssicherung*: Gütebedingungen und Prüfverfahren zum Nachweis zugesicherter und erwarteter Eigenschaften von Stoffen oder technischen Fertigerzeugnissen.
- *Verfahren*: Arbeitsverfahren zum Herstellen oder Behandeln von Erzeugnissen.
- *Lieferung und Dienstleistung*: Vereinbarungen über Lieferungen und Dienstleistungen.
- *Sicherheitsvorschriften*: Zum Schutz von Leben, Gesundheit und Sachwerten.

Ihrer Reichweite nach unterscheidet man Grundnormen, die für viele Gebiete des öffentlichen Lebens von allgemeiner, grundlegender Bedeutung sind, und Fachnormen, die ein bestimmtes Fachgebiet betreffen. Aber auch innerhalb eines Fachgebietes gibt es Grundnormen, sogenannte Fachgrundnormen, wie z.B. die uns besonders interessierenden „technischen Grundnormen“. In den einzelnen Abschnitten dieses Buches werden jeweils die einschlägigen Normblattnummern angegeben. Auf einige technische Grundnormen, die *Normzahlen*, die *Technischen Oberflächen* sowie die *Toleranzen* und *Passungen*, wird ausführlicher eingegangen, da sie für das Konstruieren von allgemeiner Bedeutung sind und die Vorteile der Normung besonders klar erkennen lassen.

Normizacija olakšava rad konstruktorima (*oblikovanje elementa*) i tehnolozima (*izrada elementa*) – ne trebaju iznova rješavati iste probleme. Pored toga omogućava velikoserijsku i masovnu proizvodnju na automatiziranim obradnim strojevima (*konkurencija*).

## Tehničke norme

Die technische Normung vollzieht sich auf drei Ebenen (Abb. 1.23):

- die nationale Normung (DIN-Normen und Werknormen),
- die internationale Normung (ISO-Normen),
- die europäische Normung (EN-Normen).

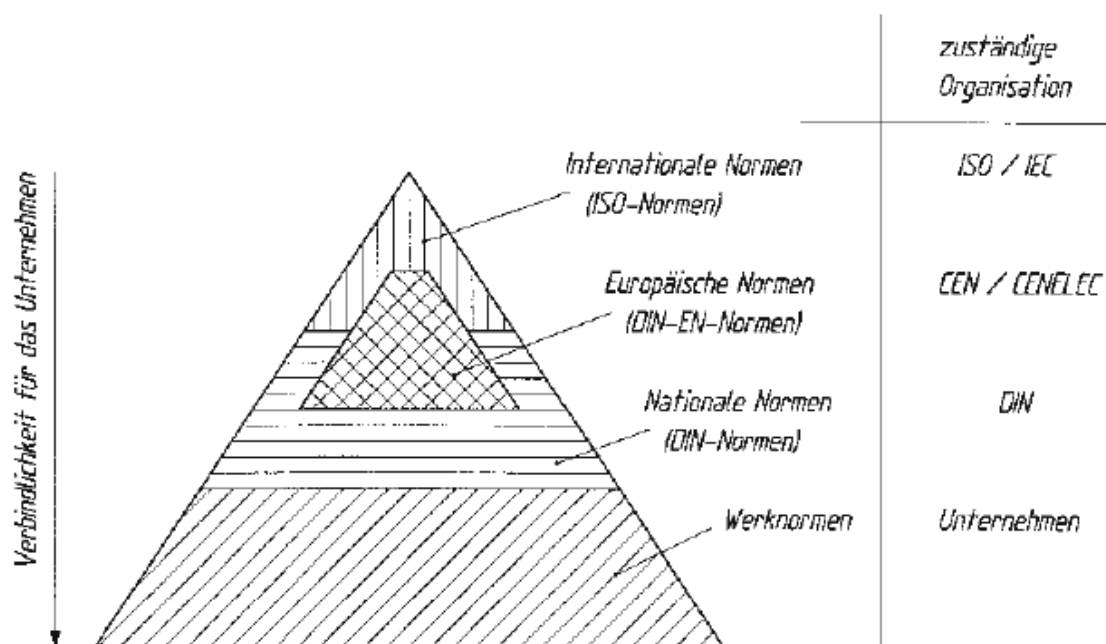


Abb. 1.23. Normenpyramide

**Internationale Normung.** Um die Normung auf eine breite internationale Basis zu stellen, wurde 1926 die internationale Vereinigung der nationalen Normenausschüsse „ISA“ (International Federation of the National Standardizing Associations) gegründet. Ihre Nachfolgerin ist seit Oktober 1946 die „ISO“ (International Organization for Standardization), deren Geschäfte ein Generalsekretariat mit Sitz in Genf führt.

Der Deutsche Normenausschuß gehört seit 1951 der ISO als Mitglied an. Bei Abstimmungen hat jedes Mitgliedsland eine Stimme. Die dort entstehenden *ISO-Normen* stellen Empfehlungen zur Angleichung der entsprechenden nationalen Normen dar.

Najniži stupanj općosti prihvaćanja su interne tvorničke norme, a najviši norme međunarodne organizacije za normizaciju – ISO (*International Standardising Organisation*).

Postupak prihvaćanja norme počinje s internom normizacijom u tvornici, koji u suradnji sa srodnim tvornicama, vodi do prihvaćanja nacionalnog standarda. Globalizacijom proizvodnje pojavila se također potreba međunarodnog standarda, pa je po završetku drugog svjetskog rata utemeljena međunarodna organizacija za standardizaciju ISO. U slučaju da o određenom međunarodnom standardu nema suglasnosti svih država članica, standard se objavi u obliku ISO tehničkog izvještaja (ISO Technical Report), koji je podvrgnut reviziji svake tri godine s namjenom dostizanja pune suglasnosti. ISO standardi imaju značaj preporučenog standarda, iako ih države članice ISO organizacije preuzimaju kao osnovu pri izradi ili usklađivanju svojih nacionalnih standarda. Proces globalne standardizacije je tako povratnog značaja, pa se preuzimanjem međunarodnih standarda utječe na odgovarajuće nacionalne standarde, a time i na osnovnu standardizaciju u tvornici.



**Nationale Normung.** Die Zielsetzung des Normungswesens wurde zuerst von einzelnen Unternehmen verfolgt, bis am 18. Mai 1917 im Rahmen des VDI ein „Ausschuß für die Normalisierung von Bauelementen im allgemeinen Maschinenbau“ gegründet wurde, der am 22. Dezember 1917 in den „Normenausschuß der deutschen Industrie“ umgewandelt wurde. Im Jahre 1926 erfolgte eine Umbenennung in „Deutscher Normenausschuß“ (DNA) und im Jahre 1975 in „Deutsches Institut für Normung e. V.“ (DIN). Die von diesem aufgestellten und in Form von Normblättern herausgegebenen „Deutsche Industrie Normen“ (DIN) bilden das deutsche Normenwerk.

Neben den DIN-Normen existieren noch andere technische Regelwerke, die eine Normung vorbereiten bzw. ergänzen. Zu den wichtigsten Veröffentlichungen zählen:

- *VDI-Richtlinien.* Der Verein Deutscher Ingenieure gibt darin Empfehlungen auf Gebieten der Technik, die noch nicht normbar sind. Viele VDI-Richtlinien werden nach Bewährung als DIN-Normen übernommen.
- *Stahl-Eisen-Werkstoffblätter.* In diesen Werkstoffblättern des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute sind noch nicht genormte Stahl- und Eisen-Werkstoffe beschrieben.
- *AD-Merkblätter.* Die Merkblätter der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter enthalten Festlegungen, die über die DIN-Normen hinausgehen und maßgebend sind für die Abnahme von Druckbehältern und ähnlichen technischen Erzeugnissen durch den Technischen Überwachungsverein (TÜV).

### 3.2.2 ISO, EN, DIN i HRN norme

Najniži stupanj općosti prihvaćanja su interne tvorničke norme, a najviši norme međunarodne organizacije za normizaciju – ISO.

Globalizacijom proizvodnje pojavila se također potreba međunarodnog standarda, pa je po završetku drugog svjetskog rata utemeljena međunarodna organizacija za standardizaciju ISO. U slučaju da o određenom međunarodnom standardu nema suglasnosti svih država članica, standard se objavi u obliku ISO tehničkog izvještaja, koji je podvrgnut reviziji svake tri godine s namjenom dostizanja pune suglasnosti. ISO standardi imaju značaj preporučenog standarda, iako ih države članice ISO organizacije preuzimaju kao osnovu pri izradi ili usklađivanju svojih nacionalnih standarda. Proces globalne standardizacije je tako povratnog značaja, pa se preuzimanjem međunarodnih standarda utječe na odgovarajuće nacionalne standarde, a time i na osnovnu standardizaciju u tvornici.

Osnutkom europske zajednice država, ova je počela izdavati svoje standarde (EN), koji su velikim dijelom temeljeni na njemačkim normama – DIN-u, ali i kvalitetnim normama drugih zemalja europske zajednice država.

U propisima objavljenim u Narodnim novinama su razrađeni detalji preuzimanja Jugoslavenskih standarda, objavljenih do 1991. godine. Naziv "JUGoslavenski Standardi" se mijenja u "HRvatske Norme", a kratica JUS u HRN. Danas je u Hrvatskoj u tijeku usvajanje Europskih normi, EN, koje se u velikoj mjeri oslanjaju na norme Savezne Republike Njemačke – DIN.

Na nacionalnim hrvatskim normama nedovoljno se radi te su gospodarske i druge organizacije prisiljene prihvatati međunarodne norme ili nacionalne norme drugih zemalja – prvenstveno njemačke kad god hrvatski standardi ne postoje ili su zastarjeli. Za pojedina područja industrije, na snazi su norme jednog ili više osiguravajućih društava, koja osiguravaju proizvod.

U propisima objavljenim u Narodnim novinama su razrađeni detalji preuzimanja Jugoslavenskih standarda, objavljenih do 1991. godine. Naziv "JUGoslavenski Standardi" se mijenja u "HRvatske Norme", a kratica JUS u HRN. Danas je u Hrvatskoj u tijeku usvajanje Europskih normi, EN (*EuroNorms – europske norme*), koje se u velikoj mjeri oslanjaju na norme Savezne Republike Njemačke – DIN (*Deutsches Institut für Normung – Njemački institut za normiranje*).

U Republici Hrvatskoj na snazi je hrvatski standard HRN (hrvatske norme), koji je preuzet od standarda JUS bivše državne zajednice. No, kako se ovi standardi slabo ili nikako ne dopunjuju niti proširuju, prisiljene su gospodarske i druge organizacije preuzeti međunarodne standarde (*ISO*) ili nacionalne standarde drugih zemalja- prvenstveno njemačke (*DIN*) kad god hrvatski standardi ne postoje ili su zastarjeli. Za pojedina područja industrije, npr. u brodogradnji, na snazi su standardi jednog ili više osiguravajućih društava, koja osiguravaju proizvod (*brod*). Na taj način i svi strojevi i uređaji u brodu moraju udovoljiti tim standardima.

Osnutkom evropske zajednice država (EZ), ova je počela izdavati svoje standarde (EN), koji su velikim dijelom temeljeni na DIN-u, ali i dobrim standardima drugih zemalja EZ.

**Europäische Normung.** Das „Europäische Komitee für Normung“ (CEN) und das „Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung“ (CENELEC) bilden die „Gemeinsame Europäische Normeninstitution“. Mitglieder sind, analog zur ISO, die nationalen Normungsinstitute der EG und der Europäischen Freihandelszone. Im Gegensatz zur ISO haben die Mitglieder bei Abstimmungen über EN-Normen jedoch unterschiedliche Stimmengewichte, abhängig von der Wirtschaftskraft des Landes.

Eine europäische Norm muß von allen Mitgliedsländern, auch von denjenigen, die dagegen gestimmt haben, in die nationalen Normenwerke übernommen werden. Sind entgegenstehende nationale Normen vorhanden, so müssen diese zurückgezogen werden. Europäische Normen werden in das Deutsche Normenwerk als *DIN-EN-Normen* aufgenommen.

### 3.2.3 Normni brojevi

U industriji su često potrebni strojni dijelovi istog tipa, ali različitih veličina. Dakako, njihovu raznolikost treba smišljeno ograničiti na što manju mjeru, premda pri tom treba zadovoljiti potrebe za različitim veličinama. U tom smislu, pri konstruiranju i određivanju dimenzija strojnih dijelova teži se ka tome, da se dužine, mjere, kote, površine, opterećenja itd., parametriziraju upotrebom standardnog broja. Upotreba parametriziranih dijelova omogućava ekonomičniju proizvodnju, kontrolu i zamjenu dijelova, te pojednostavnjuje održavanja strojeva. Standardni brojevi temelje se na vrijednostima članova geometrijskoga reda. Pri tom redu brojevi se srazmjerno povećavaju, a faktor prirasta  $q$  određuje se po izrazu:

$$q = \sqrt[x]{10}$$

Usvojene su osnovne vrijednosti:

$$x = 5, 10, 20 \text{ i } 40$$

Članovi geometrijskih nizova normnih brojeva su iz praktičnih razloga zaokruženi.

Temeljni nizovi				Računski	Razlika, %
R5	R10	R20	R40		
1,00	1,00	1,00	1,00	1,0000	+ 0,00
			1,06	1,0593	+ 0,07
		1,12	1,12	1,1220	- 0,18
			1,18	1,1885	- 0,71
	1,25	1,25	1,25	1,2589	- 0,71
			1,32	1,3335	- 1,01
		1,40	1,40	1,4125	- 0,88
			1,50	1,4962	+ 0,25
1,60	1,60	1,60	1,60	1,5849	+0,95
			1,70	1,6788	+1,26
		1,80	1,80	1,7783	+1,22
			1,90	1,8836	+0,87
	2,00	2,00	2,00	1,9953	+0,24
			2,12	2,1135	+0,31
		2,24	2,24	2,2387	+0,06
			2,36	2,3714	-0,48
2,50	2,50	2,50	2,50	2,5119	-0,47

U industriji su često potrebni strojni dijelovi istog tipa, ali različitih veličina (vijci, matice, pera, vratila, itd.). Dakako, njihovu raznolikost treba smišljeno ograničiti na što manju mjeru, premda pri tom treba zadovoljiti potrebe za različitim veličinama. U tom smislu, pri konstruiranju i određivanju dimenzija strojnih dijelova teži se ka tome, da se dužine, mjere, kote, površine, opterećenja itd., parametriziraju upotrebom standardnog broja. Upotreba parametriziranih dijelova omogućava ekonomičniju proizvodnju, kontrolu i zamjenu dijelova, te pojednostavnjuje održavanja strojeva. Standardni brojevi temelje se na vrijednostima

članova *geometrijskoga reda*. Pri tom redu brojevi se srazmjerno povećavaju, a faktor prirasta  $q$  određuje se po izrazu:

$$q = \sqrt[x]{10}$$

Usvojene su osnovne vrijednosti:

$$x = 5, 10, 20 \text{ i } 40$$

Für die „Grundreihe“ R10 mit  $n = 10$  ergibt sich ein Stufensprung von

$$q_{10} = \sqrt[10]{10} = 1,25.$$

Bei der Grundreihe R20 wird zwecks feinerer Gliederung jeweils ein Glied dazwischengeschoben, so daß gilt:

$$q_{20} = \sqrt[20]{10} = 1,12.$$

Članovi geometrijskih nizova normnih brojeva su iz praktičnih razloga zaokruženi.

Temeljni nizovi				Računski	Razlika, %
R5	R10	R20	R40		
1,00	1,00	1,00	1,00	1,0000	0,00
			1,06	1,0593	+0,07
		1,12	1,12	1,1220	-0,18
			1,18	1,1885	-0,71
	1,25	1,25	1,25	1,2589	-0,71
			1,32	1,3335	-1,01
		1,40	1,40	1,4125	-0,88
			1,50	1,4962	+0,25
1,60	1,60	1,60	1,60	1,5849	+0,95
			1,70	1,6788	+1,26
		1,80	1,80	1,7783	+1,22
			1,90	1,8836	+0,87
	2,00	2,00	2,00	1,9953	+0,24
			2,12	2,1135	+0,31
		2,24	2,24	2,2387	+0,06
			2,36	2,3714	-0,48
2,50	2,50	2,50	2,50	2,5119	-0,47
			2,65	2,6607	-0,40
		2,80	2,80	2,8184	-0,65
			3,00	2,9854	+0,49
	3,15	3,15	3,15	3,1623	-0,39
			3,35	3,3497	+0,01
		3,55	3,55	3,5481	+0,05
			3,75	3,7584	-0,22
4,00	4,00	4,00	4,00	3,9811	+0,47
			4,25	4,2170	+0,78
		4,50	4,50	4,4668	+0,74
			4,75	4,7315	+0,39
	5,00	5,00	5,00	5,0119	-0,24
			5,30	5,3088	-0,17
		5,60	5,60	5,6234	-0,42
			6,00	5,9566	+0,73
6,30	6,30	5,30	6,30	6,3096	-0,15

			6,70	6,6834	+0,25
		7,10	7,10	7,0795	+0,29
			7,50	7,4989	+0,01
	8,00	8,00	8,00	7,9433	+0,71
			8,50	8,4140	+1,02
		9,00	9,00	8,9125	+0,98
			9,50	9,4406	+0,63
10,00	10,00	10,00	10,00	10,0000	0,00

Tabelle 1.10. Beispiele für Auswahlreihen

R10	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8
R10/3(1,6)			1,6			3,15			6,3	
R10/2(2)				2		3,15		5		8

*Beispiel:* Typenreihe für Rundmaterial, Wellen

Kenngrößen	NZ-Reihen	Typenreihen							
d [mm]	R10/2 (20...)	20	31,5	50	80	125	200		
A [cm <sup>2</sup> ]	R10/4 (3,15...)	3,15	8	20	50	125	315		
W <sub>b</sub> [cm <sup>3</sup> ]	R10/6 (0,8...)	0,8	3,15	12,5	50	200	800		
I <sub>b</sub> [cm <sup>4</sup> ]	R10/8 (0,8...)	0,8	5	31,5	200	1250	8000		

Tabelle 1.11. Achshöhen für Maschinen nach DIN 747

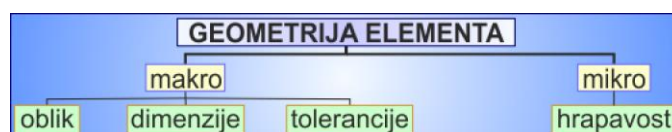
Reihe	Achshöhe <i>h</i> in mm																	
1 (R5)	25	40	63	100	160	250	400	630	1000									
2 (R10)	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250

### 3.2.4 Normirani proračuni i normirani elementi strojeva

## 3.3 Geometrija elemenata

### 3.3.1 Geometrija i površine elemenata

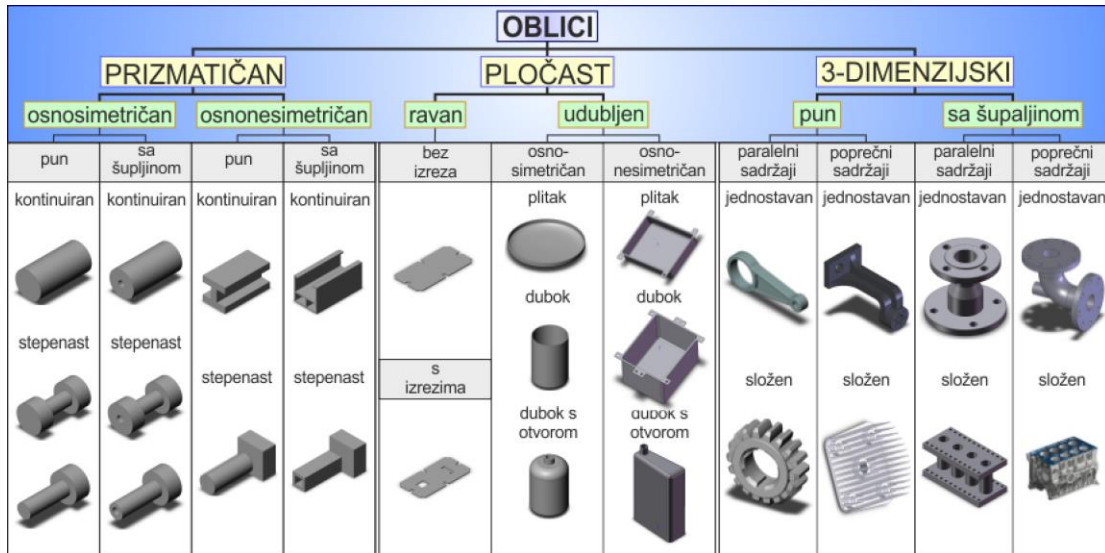
Treba razlikovati:



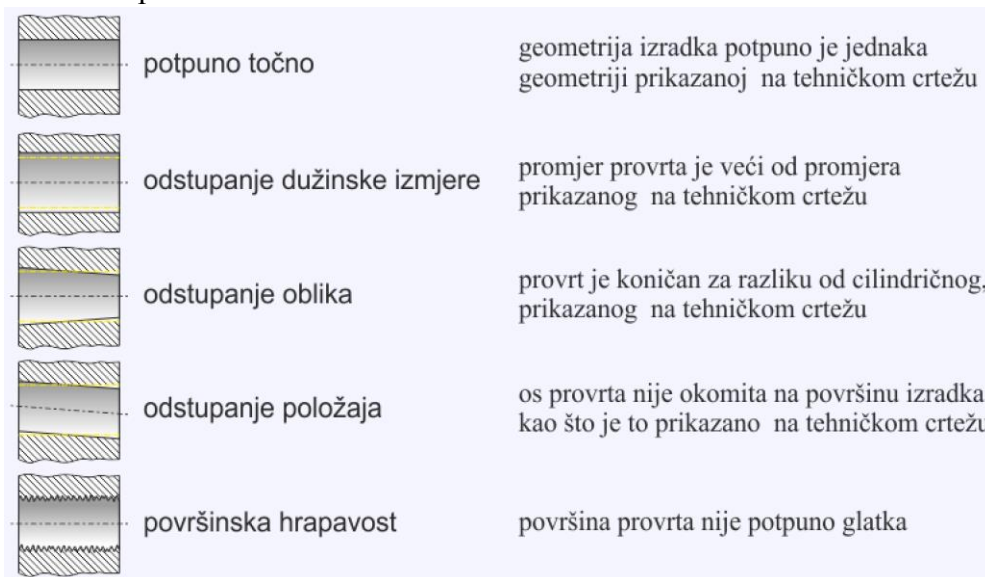
Oblici i dimenzije elemenata se određuju na temelju:

8. funkcije elementa,
9. rezultati mehaničkog proračuna

Jedna je od mogućih klasifikacija oblika komada:



Elementi se ne mogu izraditi s apsolutnom točnošću – linije izradaka odstupaju od linija elemenata prikazanih na tehničkim crtežima.



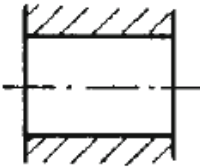
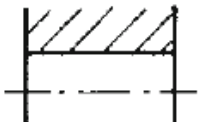

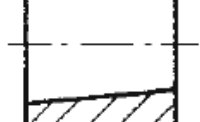
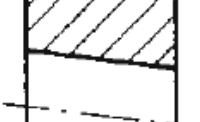
(2011), str 36÷53]

[Haberhauer

Kein Bauteil läßt sich mit absoluter Genauigkeit herstellen. Abhängig vom Fertigungsverfahren treten mehr oder weniger große Abweichungen zwischen der tatsächlichen geometrischen Gestalt und einer vorgestellten Ideal-Gestalt auf (Tabelle 1.12).

Um die geforderte Funktion zu erfüllen, müssen die Bauteile eines technischen Systems zueinander passen. Eine Welle, die sich in einer Bohrung drehen soll, muß kleiner sein als die Bohrung. Wird verlangt, daß ein Zahnrad fest auf einer Welle sitzt, damit ein Drehmoment übertragen werden kann, so ist eine Pressung zwischen Welle und Nabe notwendig. Aus Kostengründen werden heute die meisten Bauteile nicht mehr einzeln in Abstimmung auf ein spezielles Gegenstück angefertigt, sondern unabhängig davon in größeren Stückzahlen. Daher müssen die Einzelteile untereinander austauschbar sein. Die geforderte Funktion kann nur dann gewährleistet werden, wenn die Bauteile in ihren Abmessungen, ihrer Form und ihrer Lage nur zulässige Abweichungen oder Grenzabweichungen aufweisen.

**Tabelle 1.12.** Beispiele für Gestaltabweichungen einer Bohrung

Bohrung	Abweichungen	Beschreibung
	„Ideal“	Bohrung ist „ideal“ bezüglich Maß, Form, Lage und Oberfläche
	Maßabweichung	Bohrungsdurchmesser ist kleiner als das Ideal-Maß
	Formabweichung	Bohrung ist nicht zylindrisch
	Lageabweichung	Bohrungsachse ist nicht rechtwinklig zur Werkstückoberfläche
	Oberflächenrauheit	Bohrungsoberfläche ist nicht „ideal“ glatt

## Geometrija elemenata

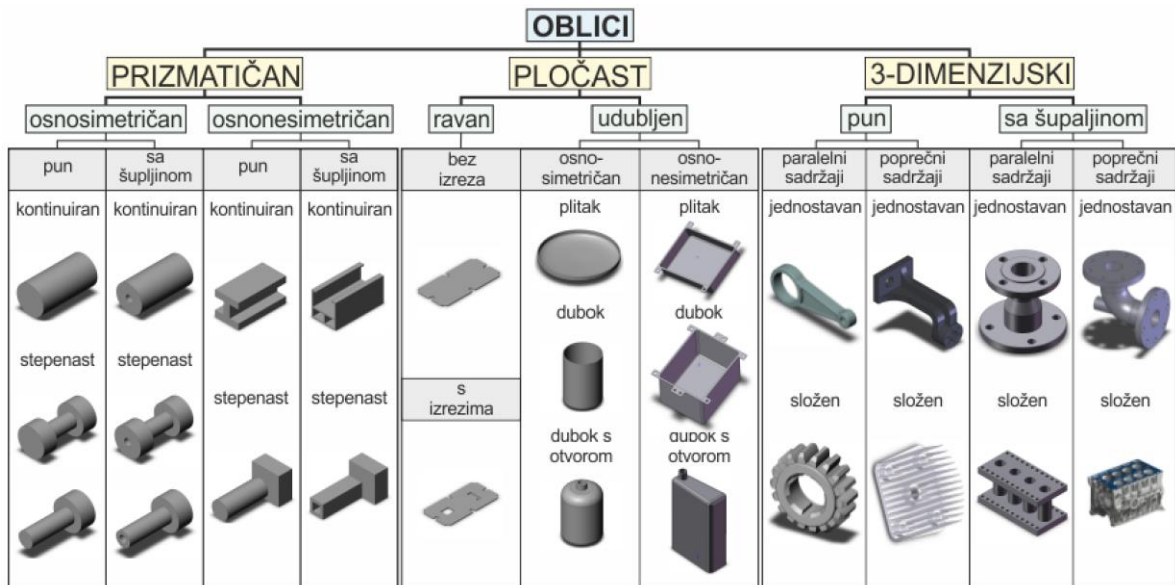
Treba razlikovati:



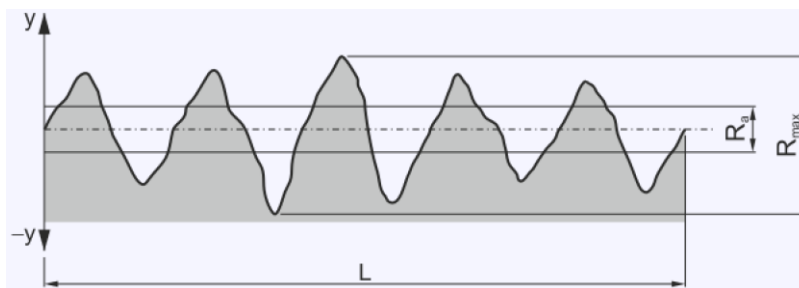
Oblici i dimenzije elemenata se određuju na temelju:

1. funkcije elementa (*uključivo sigurnost i estetski izgled*),
2. rezultati mehaničkog proračuna

Jedna je od mogućih klasifikacija oblika komada (*u stručnoj literaturi – nije norma*):



Manje ili veće hrapavosti površina posljedice su oblikovanja komada različitim postupcima obrade. Hrapavost se određuje za odabranu referentnu dužinu  $L$ .



Gdje je:  $R_{max}$  – razmak dvije najudaljenije točke od srednje linije profila površine

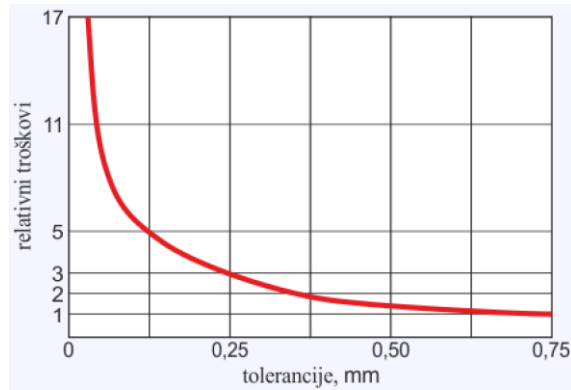
$R_a$  – srednja vrijednost aritmetičkog odstupanja profila površine

$R_z$  – srednja visina neravnina s mjerenjima u pet točaka

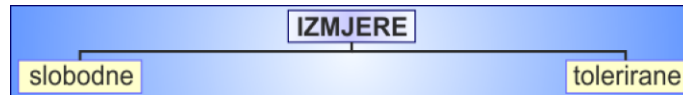


$$R_z = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |y| \cdot dx$$

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_i$$



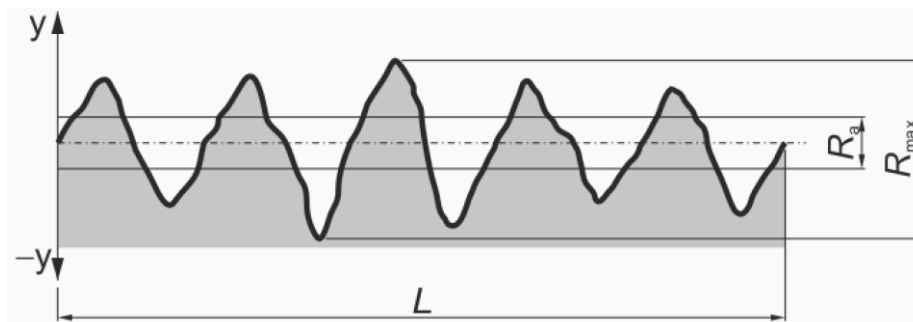
Pri konstruiranju i izradi elemenata treba razlikovati:



## Površine elemenata

[Haberhauer (2011), str 61-66]

Manje ili veće hrapavosti površina posljedice su oblikovanja komada različitim postupcima obrade. Hrapavost se određuje za odabranu referentnu dužinu  $L$ .



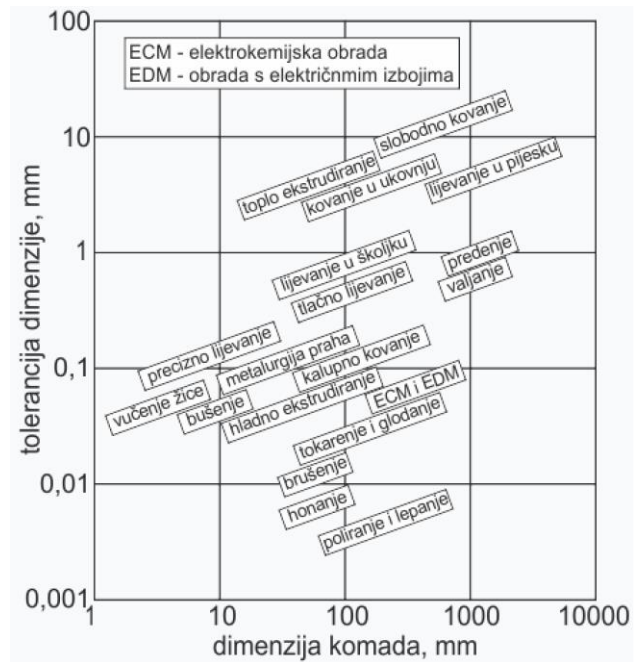
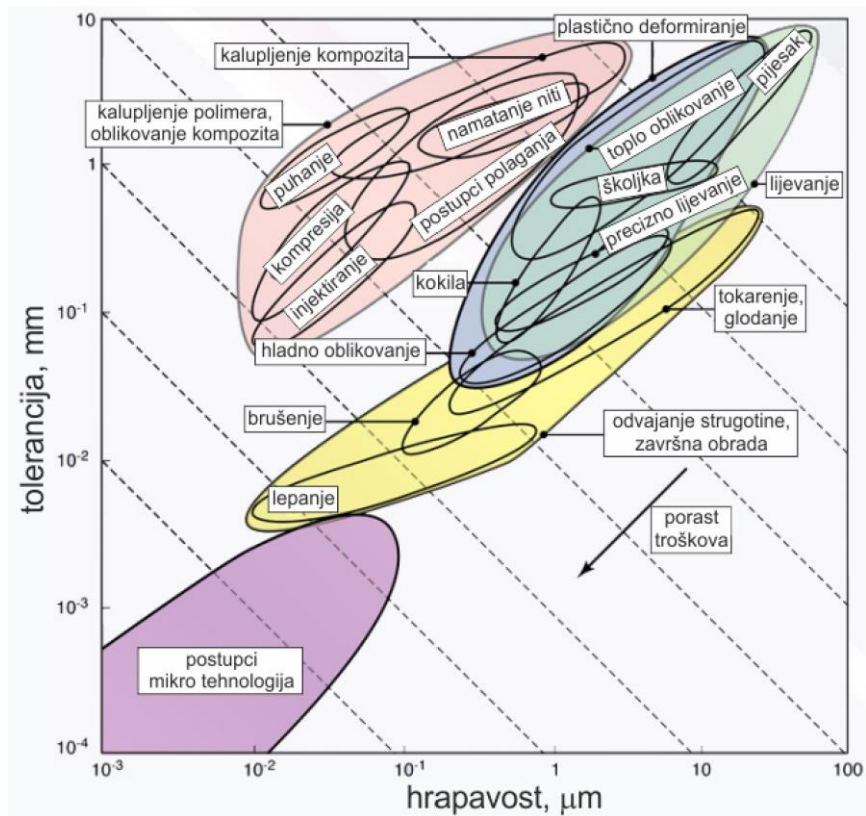
Gdje je:  $R_{max}$  – razmak dvije najudaljenije točke od srednje linije profila površine

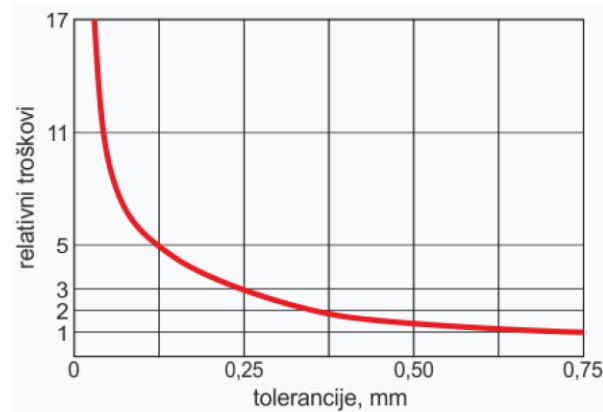
$R_a$  – srednja vrijednost aritmetičkog odstupanja profila površine

$R_z$  – srednja visina neravnina s mjerenjima u pet točaka

$$R_z = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |y| \cdot dx$$

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_i$$





### 3.3.2 Tolerancije

**Allgemeintoleranzen.** Alle Zeichnungsangaben wie Maße, aber auch Form- und Lageeigenschaften müssen toleriert werden. Für Maße, die nicht für die Funktionssicherheit oder für die Austauschbarkeit des Teiles von Bedeutung sind, genügt eine werkstattübliche Genauigkeit, die ohne besonderen Aufwand je nach Fertigungsverfahren eingehalten werden kann und als Allgemeintoleranzen angegeben werden.

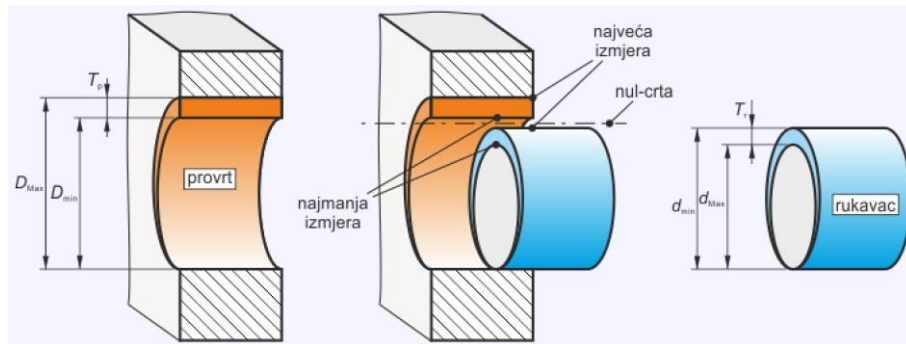
Art und Größe der Allgemeintoleranzen sind abhängig vom jeweiligen Fertigungsverfahren und sind in verschiedenen DIN- oder ISO-Normen festgelegt (Tabelle 1.13).

**Tabelle 1.13.** Normen für Allgemeintoleranzen

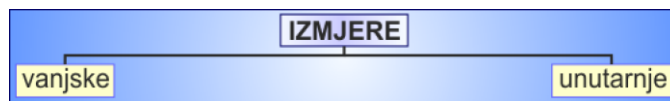
Normblatt	Fertigungsverfahren
DIN ISO 2768 (DIN 7168)	Spanend gefertigte Teile
DIN 6930	Stanzteile
DIN EN ISO 13920 (DIN 8570)	Schweißkonstruktionen
DIN 16941 (DIN 16901)	Teile aus Kunststoff
DIN 1680 bis DIN 1688	Gußteile aus Metall
ISO 8062	Formteile

### 3.3.3 Tolerancije dužinskih izmjera i tolerancijska polja

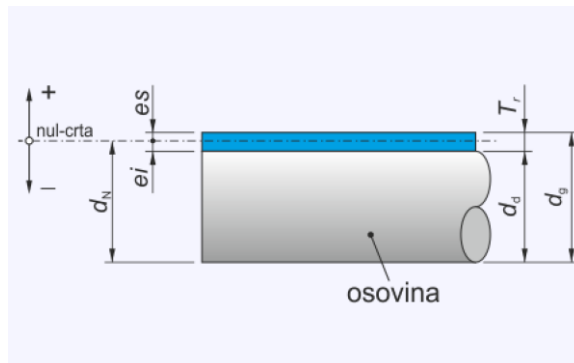
Kod izrađenih strojarskih elemenata prisutno je odstupanje dužinskih izmjera od geometrije određene linijama u tehničkom crtežu.



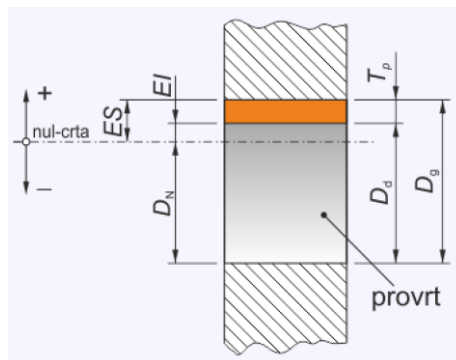
Pri tome se razlikuju:



Za vanjske i unutarnje izmjere tolerancije su do u detalje definirane u ISO normama.



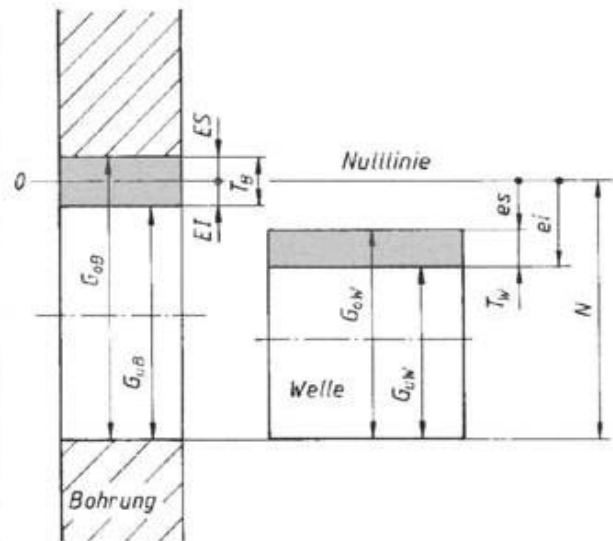
$N$  – nazivna mjera,  $es$  – gornje odstupanje,  
 $ei$  – donje odstupanje  $d_g$  – gornja granična izmjera,  
 $d_d$  – donja granična izmjera,  $T$  – tolerancija



$N$  – nazivna mjera,  $ES$  – gornje odstupanje,  
 $EI$  – donje odstupanje  $D_g$  – gornja granična izmjera,  
 $D_d$  – donja granična izmjera,  $T$  – tolerancija

1 *Höchstmaß*Bohrung:  $G_{oB} = N + ES$ Welle:  $G_{oW} = N + es$ 2 *Mindestmaß*Bohrung:  $G_{uB} = N + EI$ Welle:  $G_{uW} = N + ei$ 3 *Maßtoleranz*allgemein:  $T = G_o - G_u$ 

Bohrung:

 $T_B = G_{oB} - G_{uB} = ES - EI$ Welle:  $T_W = G_{oW} - G_{uW} = es - ei$ 4 *Toleranzfaktor zur Ermittlung der Grundtoleranzen* $0 < N \leq 500$ : $i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$  $500 < N \leq 3150$ : $I = 0,004 \cdot D + 2,1$ 

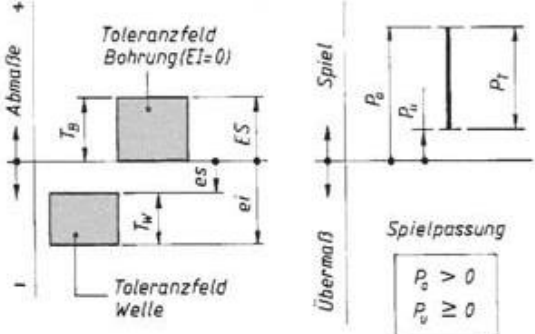
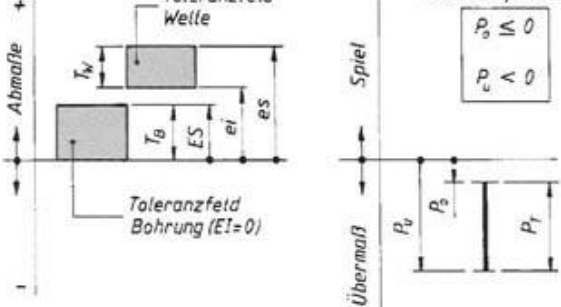
Formtoleranzen siehe TB 2-7

Lagetoleranzen siehe TB 2-8

 $D$  geometrisches Mittel für den entsprechenden Nennmaßbereich

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

Grundtoleranz  $IT$  nach TB 2-1

5	<p><i>Passung</i></p> <p>allgemein: <math>P = I_B - I_W</math></p> <p>Höchstpassung:  <math>P_o = G_{oB} - G_{uW} = ES - ei</math></p> <p>Mindestpassung:  <math>P_u = G_{uB} - G_{oW} = EI - es</math></p>	
6	<p><i>Passtoleranz</i></p> $P_T = P_o - P_u = (G_{oB} - G_{uW}) - (G_{uB} - G_{oW})$ $P_T = T_B + T_W = (ES - EI) + (es - ei)$	
7	<p><i>Spiel</i> (liegt vor, wenn <math>P_o &gt; 0</math> und <math>P_u \geq 0</math>)</p> <p>allgemein: <math>S = G_B - G_W \geq 0</math></p> <p>Höchstspiel:  <math>S_o = G_{oB} - G_{uW} = ES - ei &gt; 0</math></p> <p>Mindestspiel:  <math>S_u = G_{uB} - G_{oW} = EI - es \geq 0</math></p> <p><i>Übermaß</i> (liegt vor, wenn <math>P_o &lt; 0</math> und <math>P_u &lt; 0</math>)</p> <p>allgemein: <math>\dot{U} = G_B - G_W &lt; 0</math></p> <p>Höchstübermaß:  <math>\dot{U}_o = G_{uB} - G_{oW} = EI - es &lt; 0</math></p> <p>Mindestübermaß:  <math>\dot{U}_u = G_{oB} - G_{uW} = ES - ei &lt; 0</math></p>	
8	<p>sinnvolle <i>Rautiefenzuordnung</i></p> $Rz \leq k \cdot T$	<p><math>k \approx 0,5</math> für keine besonderen, <math>k \approx 0,25</math> bei geringen, <math>k \approx 0,1</math> bei hohen, <math>k \approx 0,05</math> bei sehr hohen Anforderungen an die Funktion</p> <p>Rautiefe nicht größer als <math>T/2</math> wählen mit <math>T</math> nach Nr. 3</p> <p>Erreichbare Rautiefe <math>Rz</math> und Mittenrauwerte nach TB 2-11 und TB 2-12</p>

Stvarna dužinska izmjera izradaka elementa nalazi se negdje između gornje i donje granične izmjere.

**Maßtoleranzen (ISO-Toleranzsystem).** Die wichtigsten Begriffe für Maßtoleranzen sind in DIN ISO 286 bzw. DIN 7182 festgelegt (Abb. 1.24). Als Bezugsmaß und zur Größenangabe dient das Nennmaß  $N$  und entspricht in der bildlichen Darstellung der Nulllinie. Das durch Messung an einem Werkstück zahlenmäßig ermittelte Maß heißt Istmaß und ist stets mit einer Meßunsicherheit behaftet. Das Istmaß muß zwischen Mindest- und Höchstmaß liegen, das heißt innerhalb der Maßtoleranz.

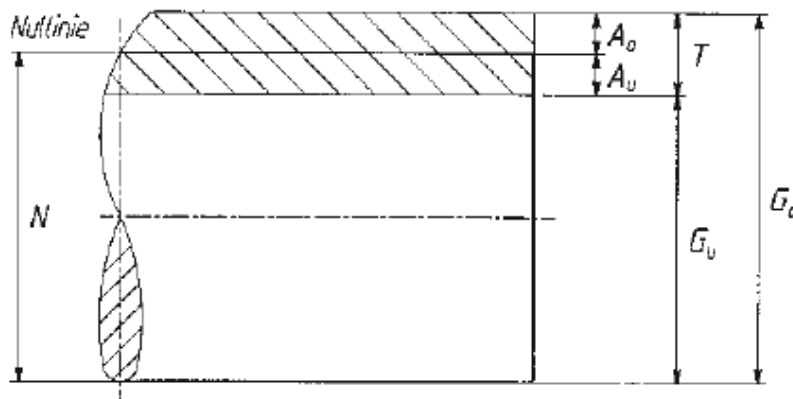
Der Unterschied zwischen Höchstmaß und Nennmaß heißt oberes Abmaß  $A_o$ , der Unterschied zwischen Mindestmaß und Nennmaß ist das untere Abmaß  $A_u$ . Für die Maßtoleranz gilt unter Berücksichtigung der Vorzeichen

$$T = G_o - G_u = A_o - A_u.$$

Nach DIN ISO 286 wird das obere Abmaß mit  $es$  (Welle) bzw.  $ES$  (Bohrung) und das untere Abmaß mit  $ei$  (Welle) bzw.  $EI$  (Bohrung) bezeichnet. Aus Gründen der Anschaulichkeit werden hier jedoch weiter die Bezeichnungen nach DIN 7182 verwendet.

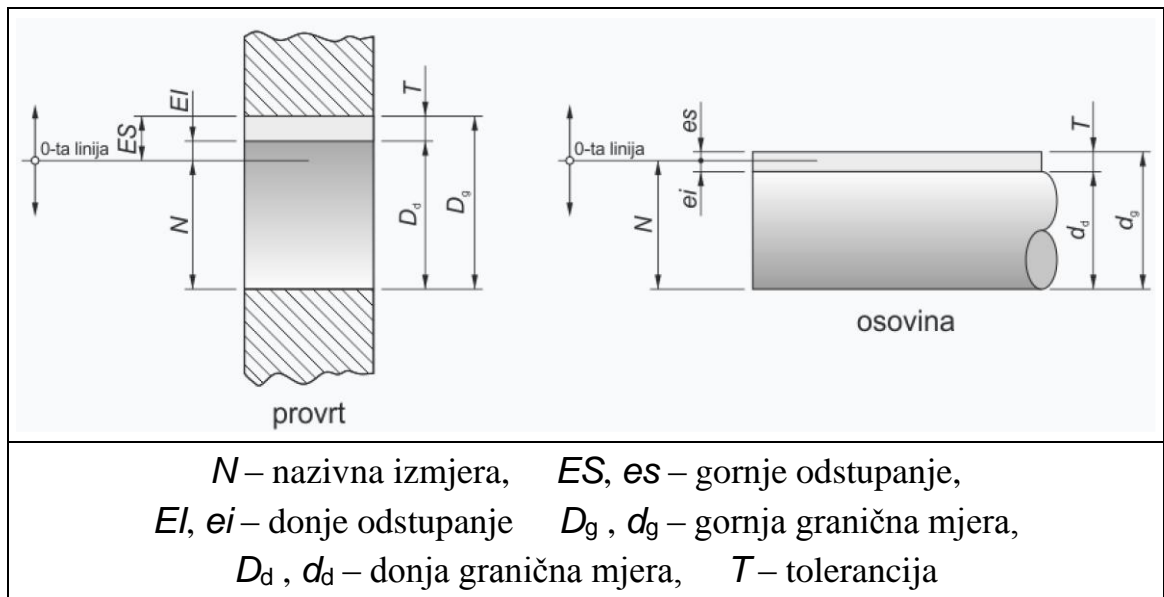
Die Tolerierung eines Maßes nach dem ISO-Toleranzsystem erfolgt in Zeichnungen durch die Angabe eines ISO-Toleranzkurzzeichens, das jeweils aus einem Buchstaben und einer Zahl besteht, z. B.  $40^{H7}$ .

### Tolerancija dužinskih izmjera



$N$ : Nennmaß ...	Maß, auf das die Abmaße bezogen werden
$G_o$ : Höchstmaß ...	größtes zulässiges Maß
$G_u$ : Mindestmaß ...	kleinstes zulässiges Maß
$A_o$ : oberes Abmaß	
$A_u$ : unteres Abmaß	
$T$ : Maßtoleranz ...	Differenz zwischen Höchst- und Mindestmaß

Tolerancije su do u detalje definirane u ISO normama.



## Tolerancijska polja

Položaj tolerancijskog polja se opisuje:

3. velikim latiničnim slovom za unutarnje izmjere i
4. malim latiničnim slovom za vanjske izmjere.

Slovo opisuje najmanje rastojanje tolerancijskog polja od nulte linije. Donja granična izmjera tolerancije H i gornja granična linija tolerancije h leže na nultoj liniji. Najmanja su rastojanja određena za 13 područja nazivnih mjera za dimenzije između 1 i 500 mm.

$D_1$ , mm	1	>3	>6	>10	>18	>30	>50	>80	>120	>180	>250	>315	>400
$D_2$ , mm	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500

Broj opisuje visinu tolerancijskog polja koja ovisi o nazivnoj mjeri. Za svako područje nazivnih mjera određeno je 20 stupanja tolerancija, od IT01 do IT18.

Temelj za određivanje visine tolerancijskog polja je jednadžba:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D \quad \mu\text{m}$$

gdje je:  $D$  – geometrijska sredina graničnih izmjera područja nazivne mjere:

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

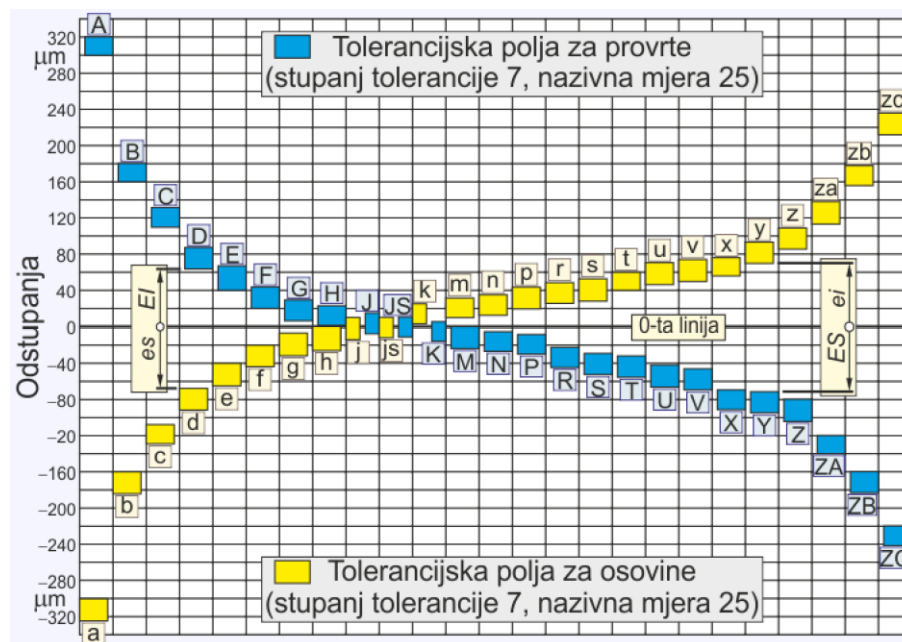
Visina je tolerancijskog polja:

$$T = i \cdot f_T \quad \text{mm}$$

gdje je:  $f_T$  – faktor tolerancije, 1.

Stupanj tolerancije	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
$f_T$	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400





Zahtijevani stupnjevi tolerancije se postižu prikladnim strojnim obradama.

Strojna obrada	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
lijevanje										
precizno kovanje										
tokarenje										
bušenje										

*Lage des Toleranzfeldes.* Der Buchstabe bezeichnet die Lage des Toleranzfeldes. Große Buchstaben werden für Innenmaße (Bohrungen) und kleine Buchstaben für Außenmaße (Wellen) verwendet. Die Buchstaben kennzeichnen nach Abb. 1.25 den kleinsten Abstand der Toleranzfelder von der Nulllinie. Diese Kleinstabstände sind durch die Grundabmaße der Toleranzlagen für 13 Nennmaßbereiche zwischen 1 und 500 mm festgelegt.

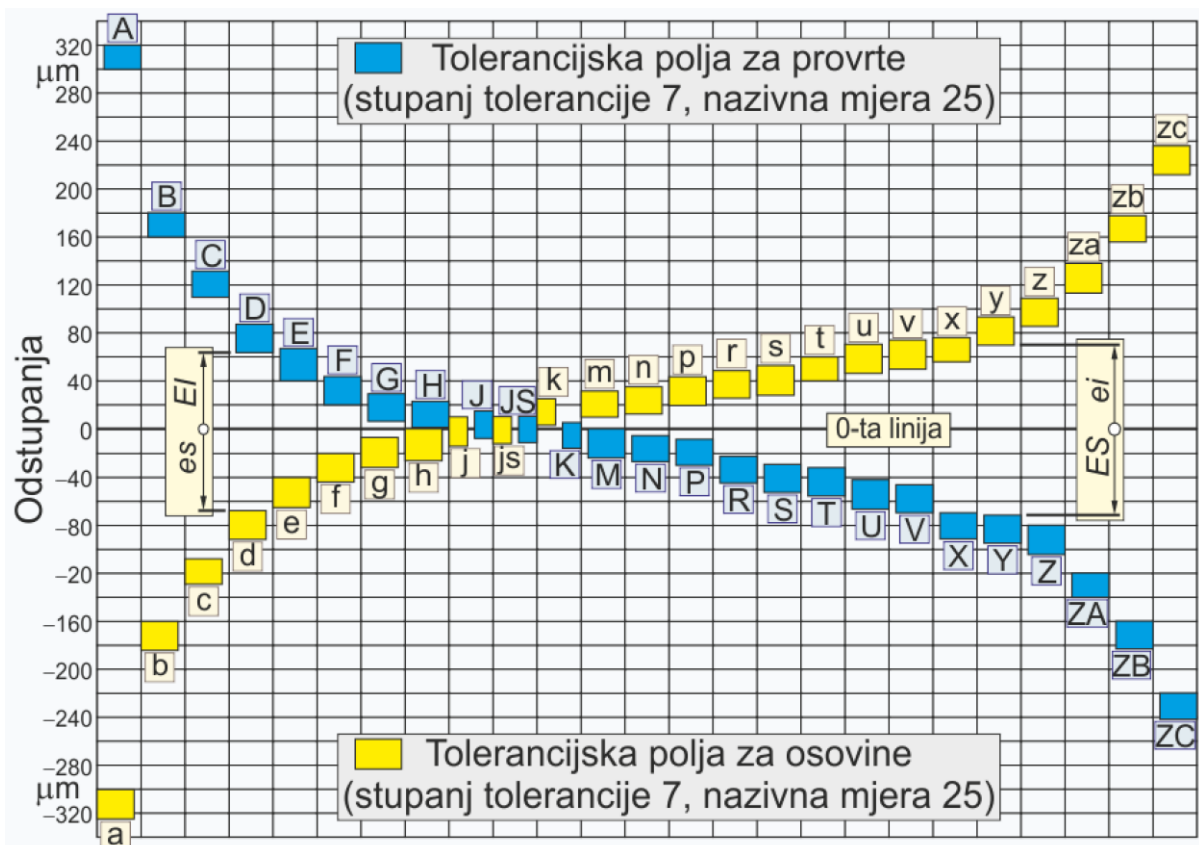
Bei den Toleranzfeldern A bis G und k bis zc sind jeweils beide Abmaße positiv, sie liegen über der Nulllinie. Die Toleranzfelder M bis ZC und a bis g liegen unter der Nulllinie, somit sind jeweils beide Abmaße negativ. Bei den H-Toleranzen liegt immer das untere Abmaß, bei den h-Toleranzen das obere Abmaß auf der Nulllinie.

*Größe des Toleranzfeldes.* Die Zahl des Kurzzeichens kennzeichnet die Größe der Maßtoleranz, die von der Größe des Nennmaßes abhängig ist. Für jeden Nennmaßbereich sind 20 Toleranzgrade, die Grundtoleranzeinheiten IT 01 bis IT 18 vorgesehen. Diese Toleranzgrade wurden früher auch „Qualitäten“ genannt. Die Grundlage für die Festlegung dieser Toleranzgröße ist der Grundtoleranzfaktor  $i$ . Für den Nennmaßbereich 1... 500 mm gilt:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D.$$

Man erhält  $i$  in  $\mu\text{m}$ , wenn  $D$  in mm eingesetzt wird. Die Nennmaße sind nach Tabelle 1.15a in 13 Bereiche gestuft.  $D$  wird als geometrisches Mittel der Grenzen  $D_1$  und  $D_2$  der Nennmaßbereiche berechnet:

$$D = \sqrt{D_1 \cdot D_2}.$$



Die Größe der Maßtoleranz erhält man als Vielfaches der Grundtoleranzeinheit  $i$ :

$$T = i \cdot f_T.$$

Der Multiplikationsfaktor  $f_T$  (Tabelle 1.15b) ist abhängig vom Toleranzgrad (Qualität) und ist ab IT6 nach der Normzahlreihe R5 mit dem Stufensprung 1,6 gestuft. Die Toleranzgrade IT01 bis IT4 sind Lehren und Feinmessgeräten vorbehalten. Für Passungen im Maschinenbau werden in der Regel die Toleranzgrade IT5 bis IT11 verwendet. IT12 bis IT 18 sind recht grobe Toleranzen wie sie z. B. in der spanlosen Fertigung angewendet werden.

Die Größe einer Toleranz wird durch die Funktion vorgegeben. Aus wirtschaftlichen Gründen sind Toleranzen jedoch möglichst groß zu wählen, damit möglichst wenig und kostengünstige Fertigungsschritte möglich sind. Tabelle 1.16 enthält eine Übersicht der wichtigsten Fertigungsverfahren und die damit erreichbaren Toleranzen.

**Tabelle 1.15a.** Nennmaßbereiche in mm

$D_1$	1	> 3	> 6	> 10	> 18	> 30	> 50	> 80	> 120	> 180	> 250	> 315	> 400
$D_2$	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500

**Tabelle 1.15b.** Anzahl der Toleranzeinheiten

Toleranzgrad:	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
Faktor $f_T$ :	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400

**Tabelle 1.16.** Erreichbare Toleranzen abhängig vom Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren	Toleranzgrade									
	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
Gießen										
Sintern										
Gesenkschmieden										
Präzisionsschmieden										
Kaltfließpressen										
Walzen										
Schneiden										
Drehen										
Bohren										
Planfräsen										
Hobeln										
Räumen										
Rundschleifen										

normal erreichbar

mit besonderem Aufwand erreichbar

Beispiel:  $40_{g8}$

1. Lage des Toleranzfeldes:

Aus Abb. 1.25 erhält man als Kleinstabstand von der Nulllinie

$$A_o = \underline{-9 \mu\text{m}}.$$

2. Breite des Toleranzfeldes:

Nennmaßbereich 30 bis 50 mm

$$D = \sqrt{30 \cdot 50} = 38,7298 \text{ mm},$$

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{38,7298} + 0,001 \cdot 38,7298 = 1,5612 \mu\text{m},$$

$$T = 1,5612 \cdot 25 = \underline{39 \mu\text{m}}.$$

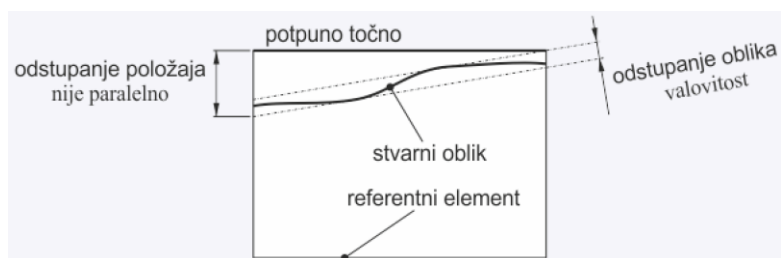
### 3.3.4 Tolerancije oblika i položaja

Kako bi se u potpunosti postigla izmjenjivost, element treba zadovoljiti pored dimenzija i tolerancija dužinskih izmjera:

- (c) tolerancije oblika i
- (d) tolerancije položaja.

**Tolerancije oblika** opisuju odstupanja elementa od idealnog geometrijskog oblika.

**Tolerancija položaja** opisuju elementa od referentnih elemenata.



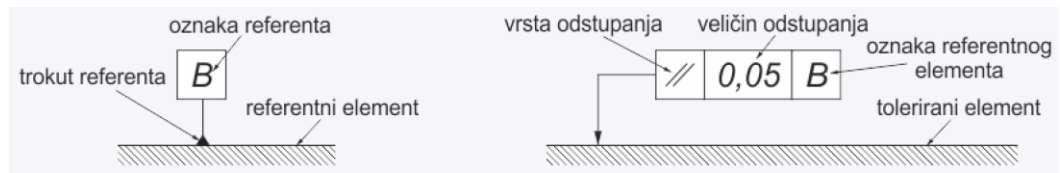
Referentni se element označava:

- **kvadratom** sa slovnom oznakom referentnog elementa,
- **punim trokutom** sa stranicom na referentnom elementu i
- **spojnom linijom** vrha trokuta s kvadratom.

Tolerancije oblika i položaja se označavaju pravokutnikom podijeljenom u više polja sa informacijama:

- **simbol** – vrsta odstupanja,
- **veličina** – odstupanje u istoj mjernoj jedinici kao i izmjera i

- **oznaka** – veliko latinično slovo koje upućuje na referentni element.



Simboli su vrsta odstupanja:

Oznaka	Odstupanje		
	pravocrtnost		os toleriranog valjka mora ležati unutar granica određenih valjkom promjera 0,05 mm
	ravnost		tolerirana površina mora ležati unutar granica određenih paralelnim ravninama na razmaku 0,05 mm
	kružnost		opsezi presjeka toleriranog valjka ravninama okomitim na os moraju ležati unutar granica određenih koncentričnim krugovima čiji se polumjeri razlikuju za 0,05 mm
	paralelnost		tolerirana površina mora ležati unutar granica određenih paralelnim ravninama, koje su paralelne s referentnom ravninom i nalaze se uzajamnom razmaku 0,05 mm
	okomitost		tolerirana površina mora ležati unutar granica određenih paralelnim ravninama, koje su okomite na referentnu ravninu nalaze se uzajamnom razmaku 0,05 mm

**Form- und Lagetoleranzen.** Bei der Herstellung von Bauteilen treten neben den Maßabweichungen auch Form- und Lageabweichungen auf. Werden dadurch Funktion und Austauschbarkeit gefährdet, so müssen Form und Lage von wichtigen Geometrieelementen zusätzlich zu den Maßtoleranzen in der Zeichnung toleriert werden.


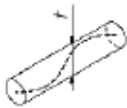
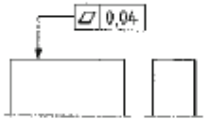

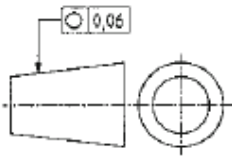
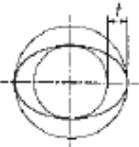

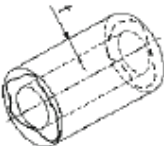
*Formtoleranzen* begrenzen die Abweichungen eines Elements von seiner geometrisch idealen Form. *Lagetoleranzen* begrenzen die Abweichungen eines Elements von der geometrisch idealen Lage zu einem oder mehreren anderen Elementen, den sogenannten Bezugselementen (Abb. 1.29). Nach DIN ISO 1101 sind sechs Formtoleranzen und sieben Lagetoleranzen definiert (Tabelle 1.19). Lagetoleranzen benötigen immer einen Bezug, Formtoleranzen dagegen nicht.

Ein *Bezugselement* ist ein Teil eines Werkstückes, z. B. eine Kante, Fläche oder Bohrung, das zur Bestimmung der Lage des Bezugs verwendet wird. Da auch Bezugselemente Fertigungsfehler aufweisen, ist es oft erforderlich für Bezugselemente Formtoleranzen festzulegen.

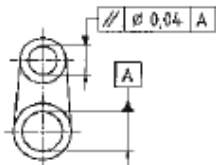
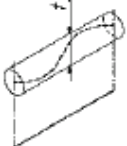
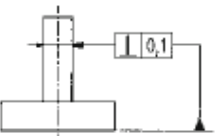
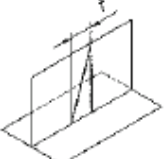
In der Zeichnung werden Form- und Lagetoleranzen nach Abb. 1.30 angegeben.

Tabelle 1.19. Form- und Lagetoleranzen nach DIN ISO 1101 (Auszug)

## a) Formtoleranzen (ohne Bezug)

Zeichnungseintragung	Toleranzzone	Erklärung
		Geradheitstoleranz Die Achse des tolerierten Zylinders muß innerhalb einer zylindrischen Toleranzgrenze vom Durchmesser 0,04 liegen.
		Ebenheitstoleranz Die Fläche muß zwischen drei parallelen Ebenen vom Abstand 0,04 liegen.
		Rundheitstoleranz Die Umfangslinie jedes Querschnittes muß zwischen zwei in derselben Ebene liegenden konzentrischen Kreisen vom Abstand 0,06 liegen.
		Zylinderformtoleranz Die betrachtete Zylindermantelfläche muß zwischen zwei koaxialen Zylindern vom Abstand 0,1 liegen.

## b) Richtungstoleranzen (nur die Richtung der Toleranzzone liegt fest)

		Parallelitätstoleranz Die tolerierte Achse muß innerhalb eines Zylinders vom Durchmesser 0,04 liegen, der parallel zur Bezugsachse A liegt.
		Rechtwinkligkeitstoleranz Die tolerierte Achse des Zylinders muß zwischen zwei parallelen, zur Bezugsfläche senkrechten Ebenen vom Abstand 0,1 liegen.

**Tabelle 1.19 (Fortsetzung)**

c) Ortstoleranzen (die Toleranzzone liegt symmetrisch zur theoretischen Position und ist deshalb ortsgebunden)

Zeichnungseintragung	Toleranzzone	Erklärung
		<p><b>Positionstoleranz</b> Der tatsächliche Schnittpunkt muß in einem Kreis vom Durchmesser 0,2 liegen, dessen Mitte mit der theoretischen genauen Lage des tolerierten Punktes übereinstimmt.</p>
		<p><b>Koaxialitätstoleranz</b> Die tolerierte Achse des Zylinders muß innerhalb eines zur Bezugsachse A - B koaxialen Zylinders vom Durchmesser 0,06 liegen.</p>
<p>d) Lauftoleranzen (sie erhalten stets Formabweichungen, z. B. Rundlauf: Rundheit und Koaxialität)</p>		
		<p><b>Rundlaufstoleranz</b> Bei einer Umdrehung um die Bezugsachse A - B darf die Rundlaufabweichung in jeder Meßebene 0,1 nicht überschreiten.</p>
		<p><b>Planlaufstoleranz</b> Bei einer Umdrehung um die Bezugsachse D darf die Planlaufabweichung an jeder beliebigen Meßposition nicht größer als 0,1 sein.</p>

**Toleranzrechnung.** Beim Zusammenbau von Einzelteilen zu Baugruppen treten durch Aneinanderreihung von Einzelmaßen zwangsläufig Maßketten auf. Da alle Einzelmaße mit Toleranzen behaftet sind, resultieren aus Maßketten sog-



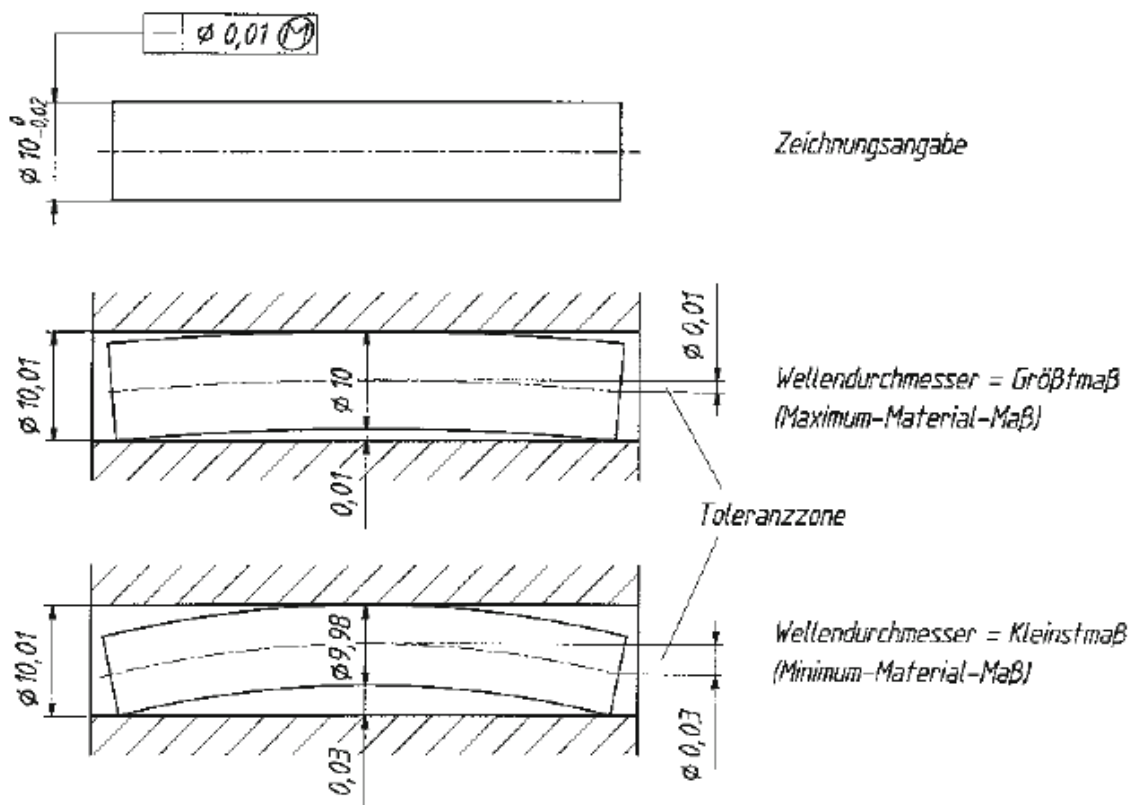
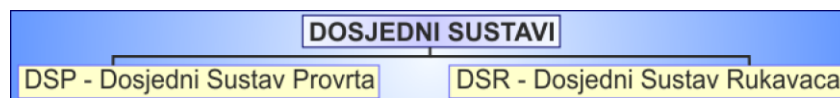


Abb. 1.33. Maximum-Material-Prinzip

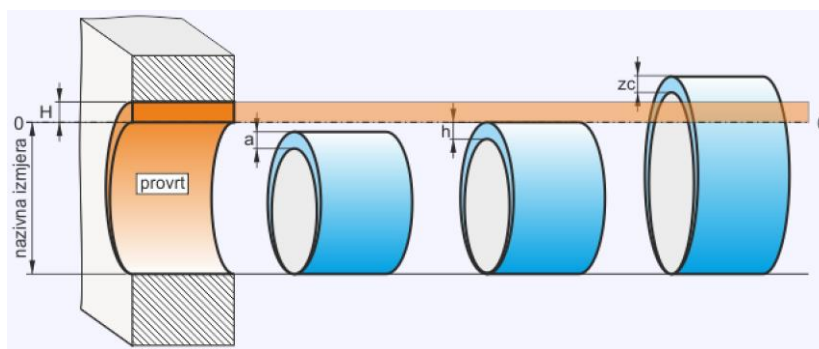
nannte Toleranzketten, die für einwandfreien Zusammenbau und Funktion von Baugruppen berücksichtigt werden müssen.

### 3.3.5 Sklopovi i dosjedi

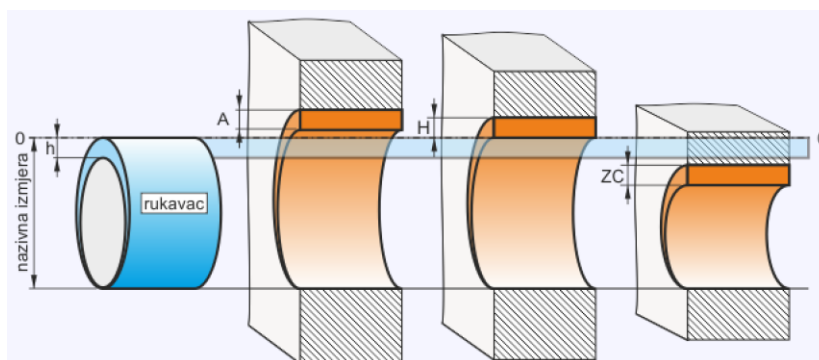
U praksi se koriste dva dosjedna sustava:



**Dosjedni sustav provrta** – temeljen je na polju tolerancija H kod kojega donja granična izmjera leži na nultoj liniji. Prema tome, najmanja izmjera provrta jednaka je nazivnoj izmjeri a zahtijevane zračnosti/prisnosti se postižu kombinacijama različitih tolerancija  $T_p$  polja H provrta s različitim poljima  $a \div zC$  i tolerancijama  $T_r$  rukavaca.

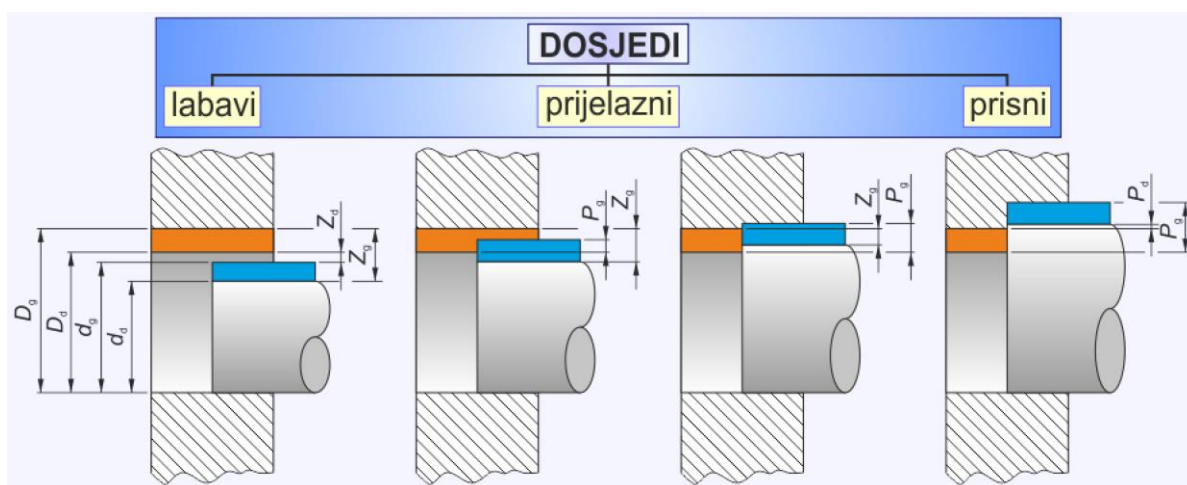


**Dosjedni sustav rukavaca** – temeljen je na polju tolerancija  $h$  kod kojega gornja granična izmjera leži na nultoj liniji. Prema tome, najveća izmjera rukavca jednaka je nazivnoj izmjeri  $a$  i zahtijevane zračnosti/prisnosti se postižu kombinacijama različitih tolerancija  $T_r$  polja  $h$  rukavca s različitim poljima  $A \div ZC$  i tolerancijama  $T_p$  provrta.



U praksi se češće koristi DSP zbog lakše obrade i mjerenja s vanjske strane strojarskog dijela – rukavca.

U ISO sustavu su dosjedi grupirani u tri skupine:



U ove tri grupe se mogu razlikovati uža područja:

Dosjedi	Odstupanja
---------	------------

		DSP	DSR
Labav	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
	pokretni	j, js	J, Js
	prilegli	k	K
	stegnuti	m	M
	uglavljani	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

Za upotrebu u strojarskom konstruiranju preporuča se:

Provrt	Rukavac						
H6	g5	f6	e7	–	–	–	–
H7	g6	f7	e8	d8, d9	c8, c9	b8, b9	a9
H8	–	f8	e9	d10	–	–	–
H11	–	–	–	d11	c11	b11	a11
	točno vođenje rukavca	minimalno trenje, maksimalna nosivost mala razlika $\vartheta_{\text{pogona}}$ i $\vartheta_{\text{zastoja}}$			miran hod, minimalno trenje, veća razlika $\vartheta_{\text{pogona}}$ i $\vartheta_{\text{zastoja}}$		
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
Rukava c	Provrt						

U konstruiranju se dosjedi usvajaju na temelju preporuka iz literature.

ISO sustav tolerancija omogućava preko tisuću kombinacija tolerancija provrta i rukavaca za postizanje zahtijevane zračnosti/prisnosti, ali se u praksi koriste samo oko 50 kombinacija.

Primjeri su primjene:

- labavi dosjed:

DSP	Primjeri	DSR
H11/a11	– vrlo velika zračnost; velika slobodna uzajamna pokretljivost dijelova sklopa; manjkavo podmazivanje i velika opasnost od zaprljanja provrt pakne kočnice / osovina	h11A11
H11/c11	– velika zračnost; slobodna uzajamna pokretljivost dijelova sklopa; sastavljanje/rastavljanje s pričvrstnim vijkom provrt remenice / vratilo – strojevi za poljodjelstvo	C11/h11
H9/d9	– veća zračnost; znatna uzajamna pokretljivost dijelova sklopa; ležaj / rukavac vratila – graditeljski strojevi	D9/h9

H7/g6	– mala zračnost; dijelova sklopa uzajamno pokrtljivi; spojka / ulazno vratilo mjenjača – motorna vozila	G7/h6
-------	---	-------

- prijelazni dosjedi:

DSP	Primjeri	DSR
H7/j6	– pri sastavljanju rastavljanju dijelovi sklopa se pomiču rukom uz lake udare čekićem; dodatno osiguranje od uzajamnog pomicanja klinom provrt remenice / rukavac	J7/h6
H7/k6	– pri sastavljanju/rastavljanju dijelovi sklopa se pomiču udarima čekića; dodatno osiguranje od uzajamnog pomicanja klinom provrt remenice / rukavac	K7/k6
H7/n6	– sastavljanje/rastavljanje uz pritisak; dodatno osiguranje od uzajamnog pomicanja klinom provrt vijenca zupčanika / kotač	N7/n6

- prisni dosjedi:

DSP	Primjeri	DSR
H7/s6	– srednja prisnost; nepotrebno dodatno osiguranje od uzajamnog pomicanja dijelova sklopa; sastavljanje/rastavljanje uz velik pritisak ili grijanje/hlađenje provrt u kućištu / blazinica kliznog ležaja	S7/h6
H7/u6	– velika prisnost; nepotrebno dodatno osiguranje od uzajamnog pomicanja dijelova sklopa; sastavljanje/rastavljanje uz vrlo velik pritisak ili grijanje/hlađenje provrt glavine kotača / osovina	U7/h6
H8/x8	– vrlo velika prisnost; nepotrebno dodatno osiguranje od uzajamnog pomicanja dijelova sklopa; sastavljanje/rastavljanje uz neizbježno grijanje/hlađenje provrt glavine zupčanika / vratilo	X7/h6

## Sklopovi

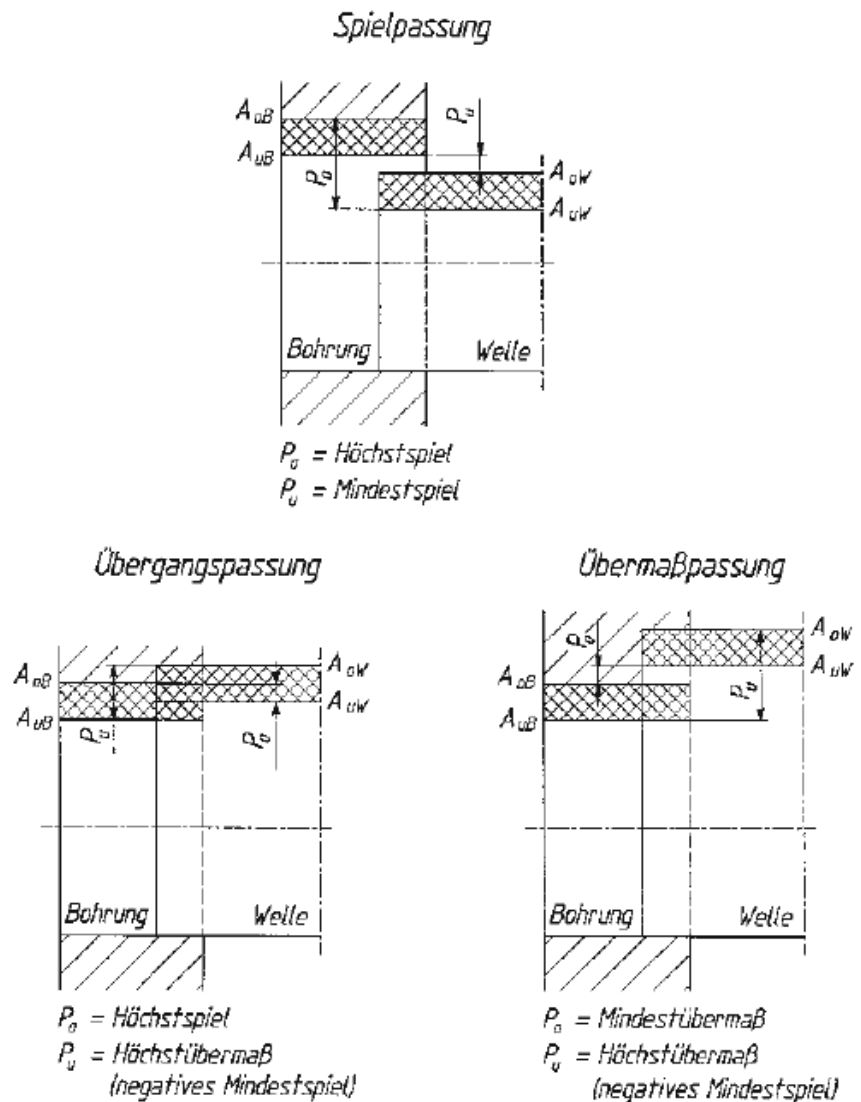
**Passungen.** Während die Maßtoleranzen die einzelnen Werkstücke betreffen, versteht man unter einer Passung die Beziehung zwischen zwei gepaarten Bauteilen. Die Einzelteile für eine Passung, die Paßteile, können nach dem ISO-Toleranzsystem an verschiedenen Stellen gefertigt und ohne Nacharbeit gefügt werden. Damit ist die Austauschbarkeit gewährleistet, die für eine wirtschaftliche Serienfertigung und Ersatzteilbeschaffung Voraussetzung ist.

Die meisten Passungen sind Rundpassungen zwischen kreiszylindrischen Paßflächen (Welle-Bohrung). Passungen zwischen ebenen Paßflächen, z. B. Schlittenführungen, Paßfedern und dgl., heißen Flachpassungen.

Je nachdem, ob eine positive oder negative Maßdifferenz zwischen zusammengehörigen Paßflächen vor der Paarung vorliegt, unterscheidet man drei verschiedene Passungsarten (Abb. 1.26):

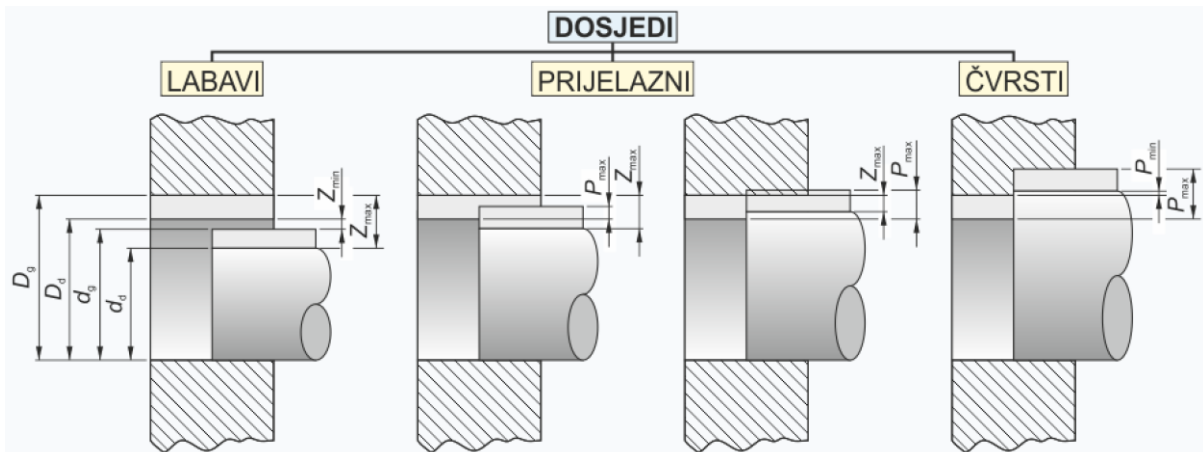
## Dosjedi

Abb. 1.26.  
Passungsarten



- *Spielpassung*: Spiel vor und nach dem Fügen,
- *Übermaßpassung*: Übermaß vor und Pressung nach dem Fügen,
- *Übergangspassung*: Spiel oder Pressung nach dem Fügen möglich.

O tolerancijama dijelova ovisi pokretljivost sklopova.



Durch die Maßtoleranzen von Außen- und Innenteil entsteht ein Mindest- und Höchstspiel bzw. ein Mindest- und Höchstübermaß. Die Differenz der Spiele oder der Übermaße, wird Paßtoleranz  $P_T$  genannt und wird mit Index B für Bohrung und W für Welle berechnet:

$$P_T = P_o - P_u = (A_{oB} - A_{uB}) + (A_{oW} - A_{uW}).$$

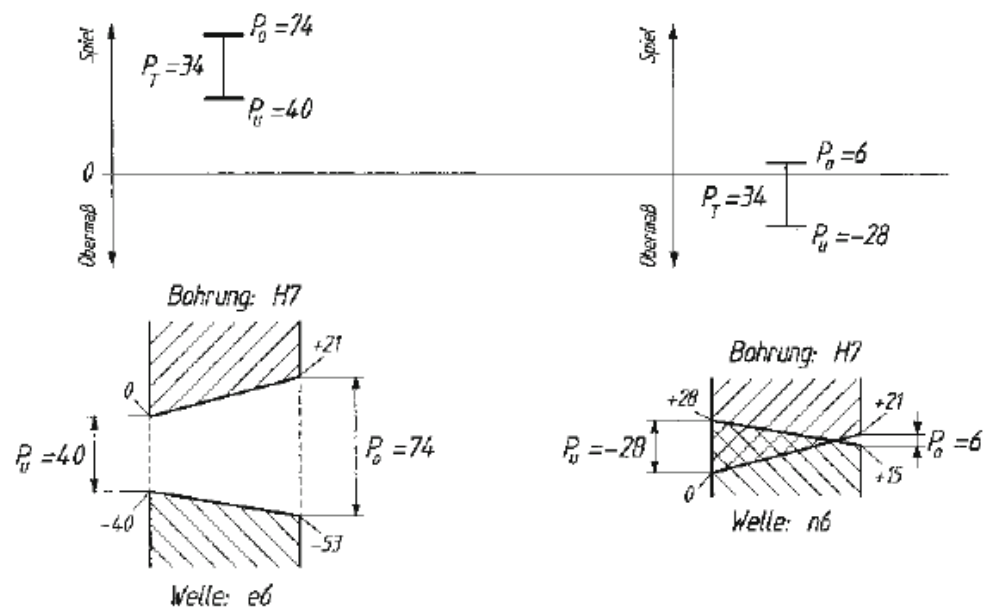
Die graphische Darstellung des Paßtoleranzfeldes einer Passung zeigt die mögliche Schwankung von Spiel oder Übermaß (Abb. 1.27). Aus der Lage des Paßtoleranzfeldes relativ zur Nulllinie kann die Passungsart abgelesen werden.

Nach dem ISO-System ist prinzipiell jede Paarung der verschiedenen Wellen und Bohrungen möglich. Mit jeweils 27 Toleranzfeldlagen und 20 Toleranzgraden für Wellen und Bohrungen ergeben sich 291 600 Paarungsmöglichkeiten. Aus wirtschaftlichen Gründen ist natürlich eine Einschränkung auf eine Reihe von geeigneten Passungen notwendig.

Abb. 1.27. Paßtoleranz

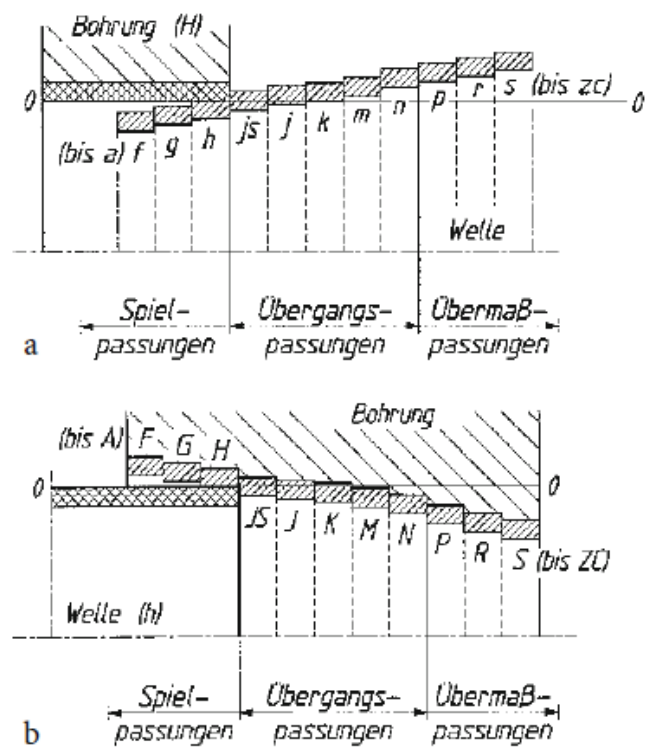
Spielpassung:  $30 \begin{smallmatrix} H7 \\ e6 \end{smallmatrix}$

Übergangspassung:  $30 \begin{smallmatrix} H7 \\ n6 \end{smallmatrix}$



Es erscheint nicht sehr sinnvoll, eine Welle mit Toleranzgrad IT 18 und eine Bohrung mit Toleranzgrad IT 1 zu paaren, sondern die Maßtoleranzen für Welle und Bohrung sollten in der gleichen Größenordnung liegen. Da eine Außenkontur bei gleichem Aufwand genauer gefertigt werden kann als eine Innenkontur, wird der Toleranzgrad der Welle in der Regel um ein bis zwei Stufen kleiner gewählt (z. B.  $30^{H7}/30_{e6}$ ). Eine noch größere Einschränkung erhält man dadurch, daß für die Bohrung nur eine Toleranzfeldlage  $H$  verwendet wird. Dadurch entsteht das Paßsystem „Einheitsbohrung“. Es kann natürlich auch für die Welle nur eine Toleranzfeldlage  $h$  zugelassen werden, das dann zum Paßsystem „Einheitswelle“ führt (Abb. 1.28).

Abb. 1.28. Paßsysteme a) Einheitsbohrung (Toleranzfeld  $H$ );  
b) Einheitswelle (Toleranzfeld  $h$ )



*System Einheitsbohrung.* Hierbei sind für alle Passungsarten die Kleinstmaße der Bohrungen gleich dem Nennmaß. Alle Bohrungen werden also mit  $H$ -Toleranzfelder ausgeführt, für die Wellen werden je nach Passungsart, verschiedene Toleranzfeldlagen gewählt. Dadurch werden weniger unterschiedliche Bohrwerkzeuge (z. B. teure Reibahlen), Meßwerkzeuge (z. B. Lehrdorne) und Aufspanndorne für Bearbeitungsmaschinen benötigt. Das System Einheitsbohrung wird bevorzugt im Maschinen-, Geräte- und Apparatebau angewendet.

*System Einheitswelle.* Alle Wellen werden mit  $h$ -Toleranzfelder ausgeführt, d. h. für alle Passungsarten sind die Größtmaße der Wellen gleich dem Nennmaß. Für die Bohrungen können beliebige Toleranzfeldlagen gewählt werden. Es können hierfür glatte Wellen (blankgezogener Rundstahl) verwendet werden, so daß dadurch niedrige Bearbeitungskosten entstehen. Für die Bohrungen werden allerdings spezielle und teure Werkzeuge (z. B. Reibahle mit  $G8$ ) benötigt. Das System Einheitswelle wird daher nur in der Massenfertigung eingesetzt oder wenn bevorzugt standardisierte, glatte Wellen verwendet werden.

### **Izbor tolerancija dosjeda**

Mit dem Ziel, die Anzahl der Werkzeuge, Spannzeuge und Meßzeuge auf ein Minimum zu beschränken, wird in DIN 7157 eine Auswahl von Passungen empfohlen. In Tabelle 1.17 sind die empfohlenen Passungen mit Anwendungsbeispielen und in Tabelle 1.18 die entsprechenden Grenzabmaße aufgeführt.



**Tabelle 1.17.** Passungsauswahl nach DIN 7157 (Fettdruck kennzeichnet Reihe 1, die bevorzugt zu verwenden ist)

	Einheitsbohrung DIN 7154	Passungsart	Anwendungsbeispiele	Einheitswelle DIN 7155
Preßpassungen	H8/x8 H8/u8	Preßsitz für große Haftkraft	Naben von Zahnrädern, Laufrädern und Schwungrädern, Wellenflansche, ohne zusätzliche Sicherung durch Federn, Keile, Kerbzähne u. dgl. (bis 24 mm H8/x8, über 24 mm H8/u8)	
	H7/s6 H7/r6	Preßsitz für mittlere Haftkraft	Kupplungs-naben, Bronzekränze auf Graugußnaben, Lagerbuchsen in Gehäusen Räder und Schubstangen.	
Übergangspassungen	H7/n6	Festsitz. Mit Presse fügen!	Zahnkränze auf Radkörpern, Bunde auf Wellen, Lagerbuchsen in Getriebekästen und Naben. Stirn- und Schneckenräder stoßartiger Beanspruchung mit Sicherung gegen Verdrehen. Anker auf Motorwellen.	
	H7/k6	Haftsitz. Mit Hammer ffügbar	Riemenscheiben, Kupplungen, Zahnräder auf Wellen. Schwungräder mit Tangentenkeilen. Feste Handräder und -hebel. Festsitz für Wälzlager. Paßstifte.	
	H7/j6	Schiebesatz. Mit Hammer oder von Hand	Öfter auszubauende oder schwierig einzubauende Riemenscheiben, Zahnräder und Handräder mit Formschlußverbindungen (z. B. Paßfeder). Kolben auf Kolbenstange und Zentrierungen.	

Tabelle 1.17 (Fortsetzung)

	Einheitsbohrung DIN 7154	Passungsart	Anwendungsbeispiele	Einheitswelle DIN 7155
	H7/h6	Gleitsitz. Von Hand verschiebbar	Wechselräder auf Wellen, Pinole im Reitstock, lose Buchsen für Kolbenbolzen, Zentrierflansche für Kupplungen, Stellringe und Säulenführungen.	H7/h6
	H8/h9	Schlichtgleitsitz. Kraftlos verschiebbar	Stellringe für Zahnräder, Kupplungen und Riemenscheiben, die über Wellen geschoben werden müssen.	H8/h9
	H11/h9 H11/h11	Geringes Spiel bei Teilen mit großer Toleranz	Teile an landwirtschaftlichen Maschinen, die auf Wellen verstiftet, festgeschraubt oder festgeklemmt werden. Distanzbuchsen, Scharnierbolzen für Feuertüren. Hebelschalter.	H11/h9 H11/h11
Spielpassungen	H7/g6	Enger Laufsitz. Kaum Spiel	Ziehkeilriemen, Schieberäderblöcke, verschiebbare Kupplungen, Stellstifte in Führungsbuchsen, Schubstangenlager.	G7/h6
	H7/f7	Laufsitz. Merkliches Spiel	Lager für Werkzeugmaschinen, Getriebewellen, Kurbelwellen und Nockenwellen.	F8/h6
	H8/f7	Leichter Laufsitz. Merkliches Spiel	Hauptlager für Kurbelwellen, Schubstangen, Kreisel- und Zahnradpumpen, Gebläsewellen. Kreuzkopf in Gleitbahn, Kolben und Kolbenschieber, Kupplungsmuffen.	
	H8/e8	Schlichtlaufsitz. Merkliches Spiel	Mehrfach gelagerte Wellen, die evtl. nicht exakt fluchten.	F8/h9
	H8/d9	Weiter Laufsitz. Reichliches Spiel	Seilrollen, Achsbuchsen an Fahrzeugen, Lagerung von Gewindespindeln in Schlitten.	E9/h9
		Sehr reichliches Spiel	Lager für landwirtschaftliche Maschinen. Stopfbuchsenteile.	D10/h9
	H11/d9	Sicheres Bewegungsspiel bei großer Toleranz	Abnehmbare Hebel und Kurbeln, Hebel und Gabelbolzen. Lager für Rollen und Führungen.	D10/h11 C11/h9
H11/c11	Großes Bewegungsspiel bei großer Toleranz	Lager für Haushaltsmaschinen, Drehschalter, Schnappstifte für Schalthebel, Gabelbolzen	C11/h11	

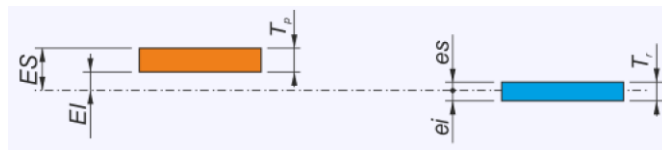
### 3.3.6 Primjer proračuna tolerancija

Odrediti odstupanja dužinskih izmjera elemenata i vrstu dosjeda za sklop  $\phi 30H9/k8$ .

**Rješenje:**

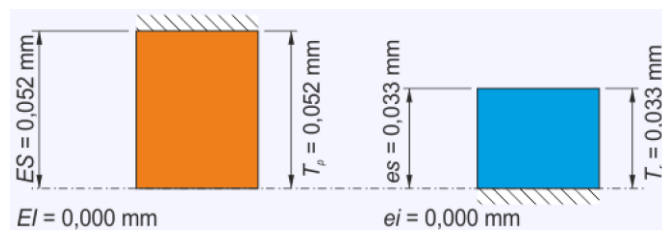
(a) Veličine odstupanja dužinskih izmjera elemenata:

- vrijednosti temeljnih tolerancija:
  - provrt:  $\phi 30 IT9 \Rightarrow T_p = 0,052 \text{ mm}$  – iz tablice
  - rukavac:  $\phi 30 IT8 \Rightarrow T_r = 0,033 \text{ mm}$  – iz tablice
- vrijednosti veličina tolerancijskih polja



- provrt:  $\phi 30 IT9 \Rightarrow EI = 0,000$  – iz tablice  
 $ES = EI + T_p = 0,000 \text{ mm} + 0,052 \text{ mm} = 0,052 \text{ mm}$
- rukavac:  $\phi 30 IT8 \Rightarrow ei = 0,000$  – iz tablice  
 $es = ei + T_r = 0,000 \text{ mm} + 0,033 \text{ mm} = 0,033 \text{ mm}$

- položaji tolerancijskih polja u odnosu na nul-crtu



ISO – Tolerancije	
$\phi 30H9$	+ 0,052 0,000
$\phi 30k8$	+ 0,033 0,000

(b) Vrsta dosjeda:

prijelazni dosjed

$$ES = 0,052 \text{ mm} > ei = 0,000 \text{ mm} \quad \text{– zračnost}$$

$$EI = 0,000 \text{ mm} < es = 0,033 \text{ mm} \quad \text{– prijeklop}$$

- najveća zračnost:
  - $Z_g = ES - ei = 0,052 - 0,000 = 0,052 \text{ mm}$  ( $= D_g - d_d$ )
- najveći prijeklop:
  - $P_g = EI - es = 0,000 - 0,033 = -0,033 \text{ mm}$  ( $= D_d - d_g$ )



ISO – Dosjed	
φ 30H9/k8	+ 0,052
	- 0,033

## 3.4 Inženjerska grafika

### 3.4.1 Vrste inženjerske grafike

### 3.4.2 Prostorna grafika

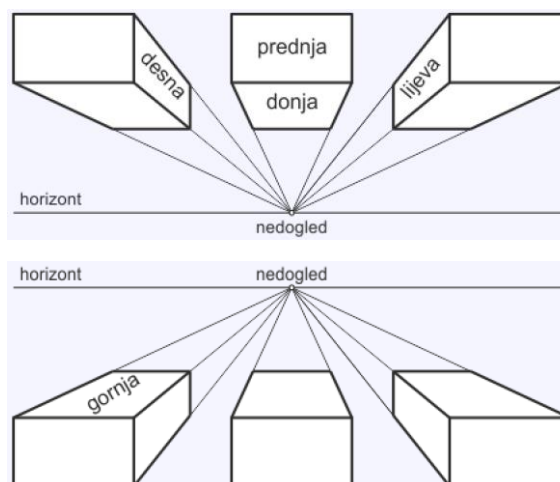
Prema načinu opisa razlikuju se:



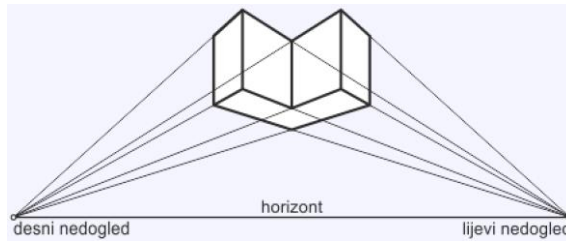
**Perspektiva** daje najvjerniju sliku objekata u prostoru. Prikazuje predmete onako kako ih vidi ljudsko oko i najbližnja je fotografiji.

**Aksonometrija** je jednostavnija, ali ne daje vjernu sliku objekta u prostoru što naročito dolazi do izražaja kod manjih objekata.

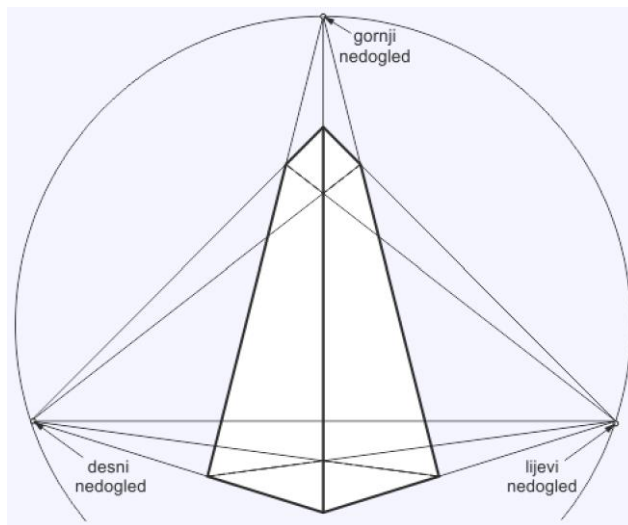
**Perspektiva** s jednim nedogledom



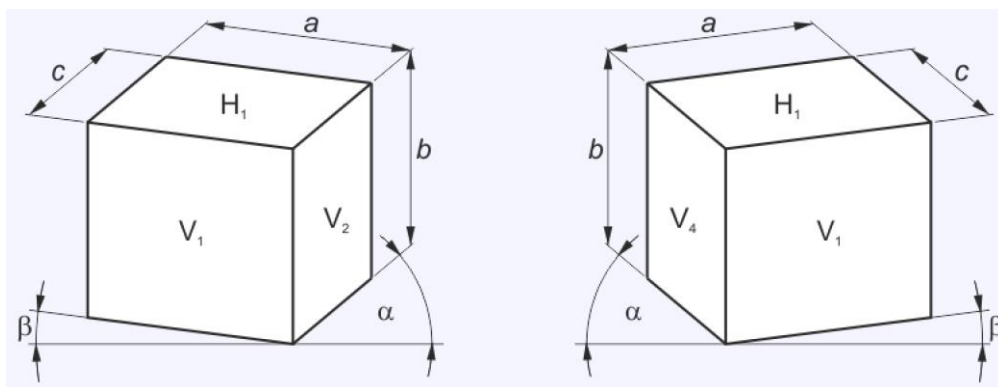
Perspektiva s dva nedogledom



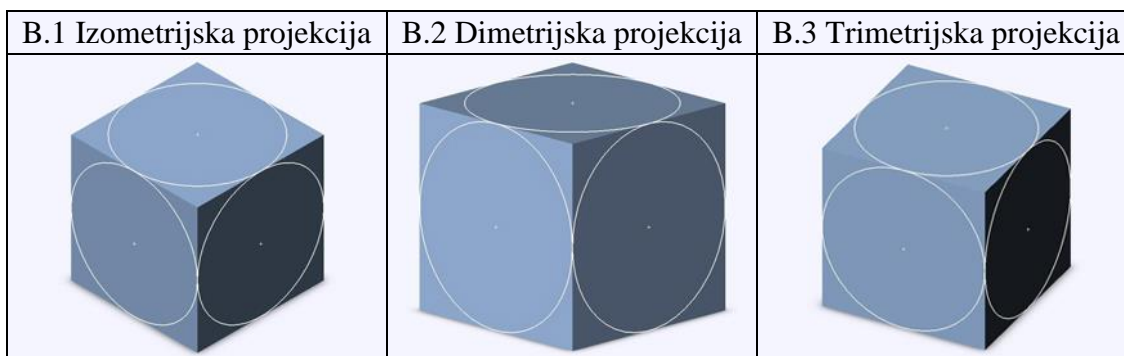
Perspektiva s tri nedogleda (žablja perspektiva)



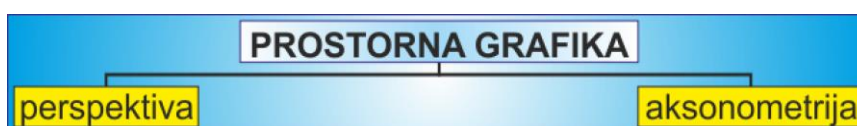
Aksonometrija



Vrsta aksonometrije		Karakteristične izmjere				
		$\alpha$	$\beta$	a	b	c
A	Kosa aksonometrija					
A.1	Kosa projekcija	$30^\circ \div 45^\circ$	$0^\circ$	1	1	$1/2 \div 2/3$
A.2	Frontalna aksonometrija	$30^\circ \div 45^\circ$	$0^\circ$	1	1	1
B	Ortogonalna aksonometrija					
B.1	Izometrijska projekcija	$30^\circ$	$30^\circ$	1	1	1
B.2	Dimetriljska projekcija	$42^\circ$	$7^\circ$	1	1	$1/2$
B.3	Trimetrijska projekcija	$30^\circ \div 45^\circ$	$< 30^\circ$	proizvoljno		



Prema načinu opisa razlikuju se:



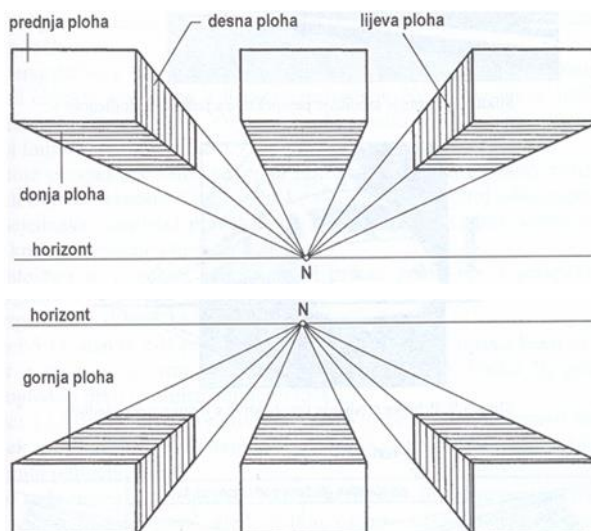
**Perspektiva** daje najvjerniju sliku objekata u prostoru. Prikazuje predmete onako kako ih vidi ljudsko oko i najbližnja je fotografiji.

**Aksonometrija** je jednostavnija, ali ne daje vjernu sliku objekta u prostoru što naročito dolazi do izražaja kod manjih objekata.

## Perspektiva

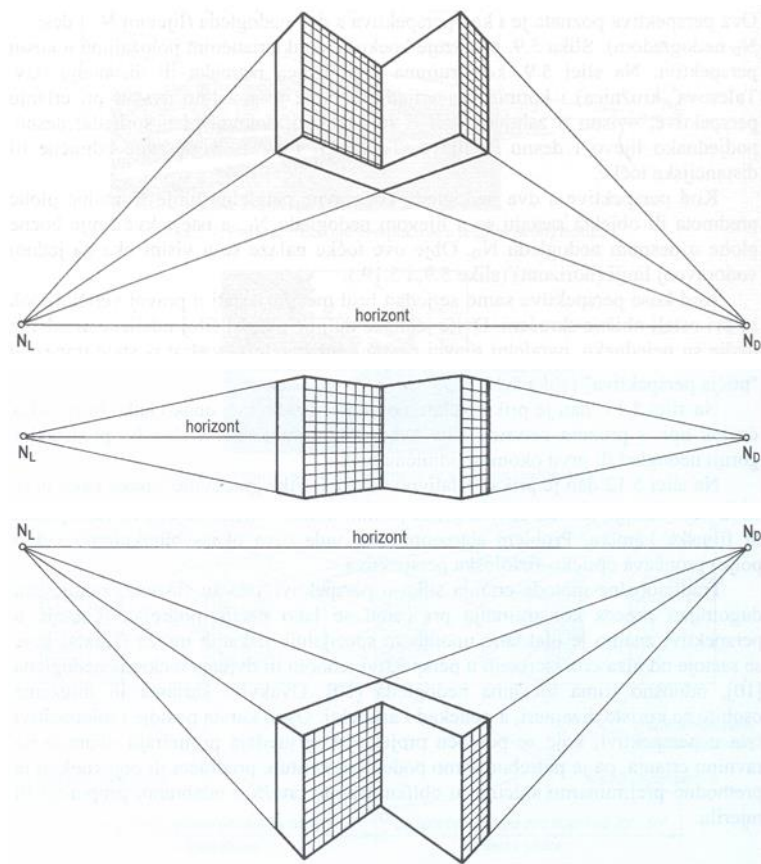
### *Perspektiva s jednim nedogledom*

$N$  – nedogled



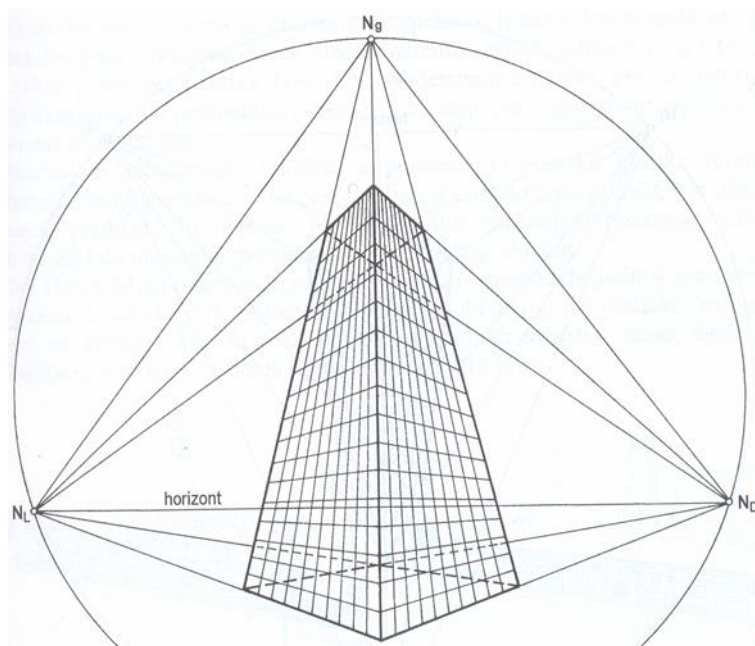
### *Perspektiva s dva nedogledom*

$N_L$  – lijevi nedogled i  $N_D$  – desni nedogled



*Perspektiva s tri nedogleda*

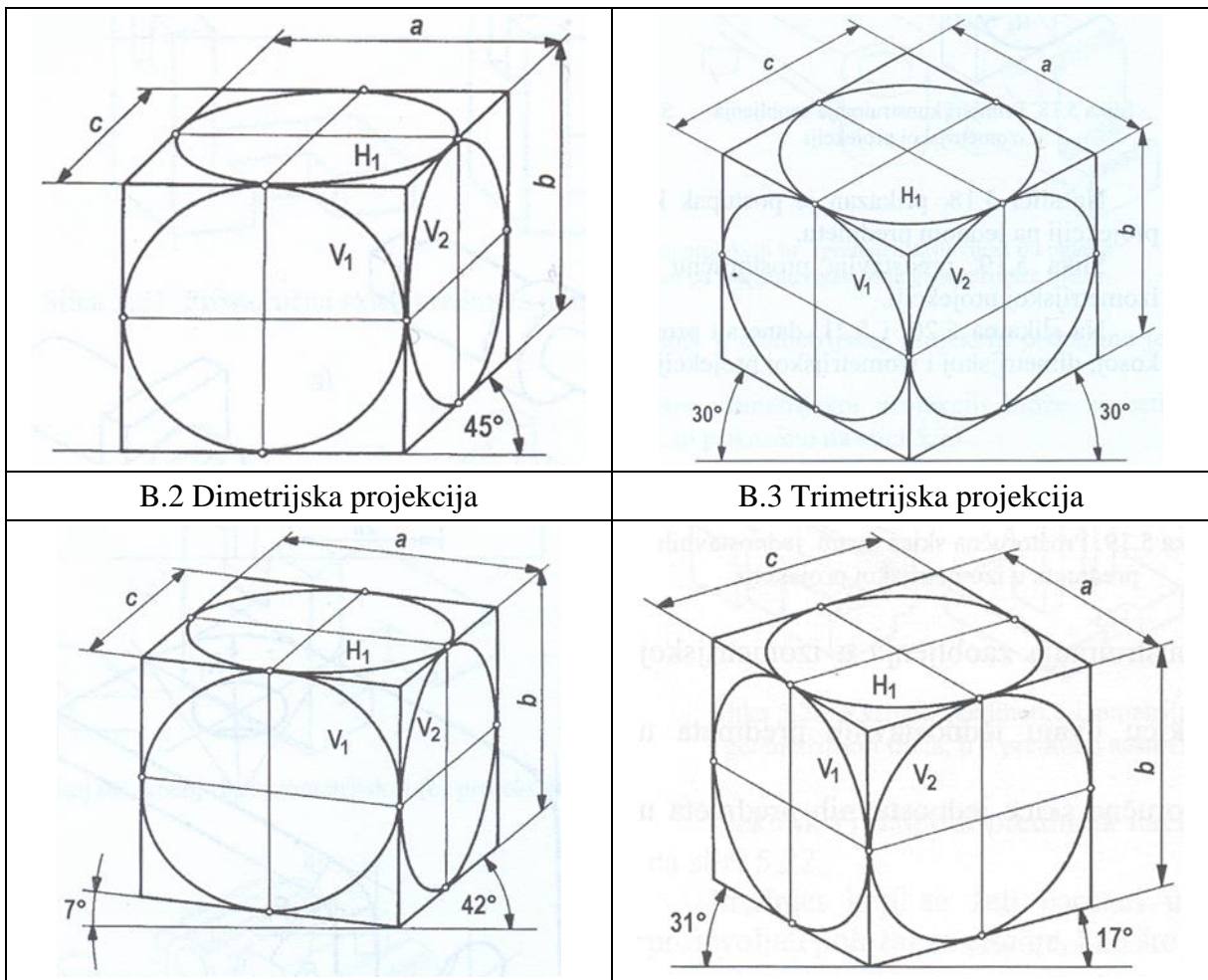
$N_L$  – lijevi nedogled,  $N_D$  – desni nedogled i  $N_g$  – gornji nedogled



"žablja perspektiva"







## Projekcije

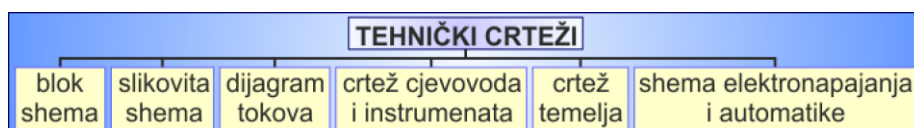
### 3.4.3 Tehnički crteži

Prema načinu izrade se razlikuju:

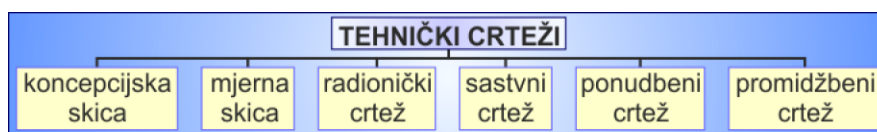


S računalnim crtanjem ne treba početi prije rješavanja svih upitnih detalja koji će biti prikazani na tehničkom crtežu.

U razradi sustava, prema namjeni, razlikuju se:



U razradi elemenata, prema namjeni, razlikuju se:



- **konceptijska skica** – prostoručna skica s osnovnim dimenzijama i popisom glavnih svojstava,
- **mjerna skica** – prostoručna skica sa svim dimenzijama,
- **radionički crtež** – element sa svim detaljima potrebnim za izradu,
- **sastvni crtež** – opis sklapanja komada u elemente,
- **ponudbeni crtež** – element s osnovnim dimenzijama i glavnim svojstvima,
- **promidžbeni crtež** – pojednostavljeni crtež u prospektima.

Prema načinu izrade se razlikuju:

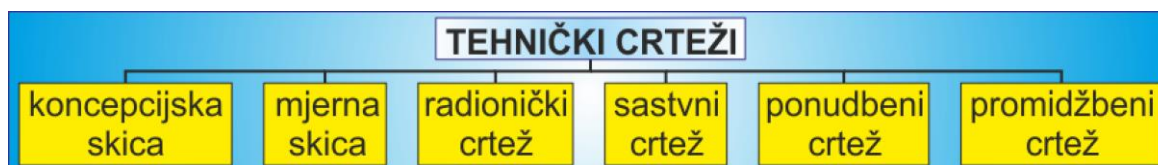


S računalnim crtanjem ne treba početi prije rješavanja svih upitnih detalja koji će biti prikazani na tehničkom crtežu (*izmjene oduzimaju puno vremena*).

U razradi sustava, prema namjeni, razlikuju se:



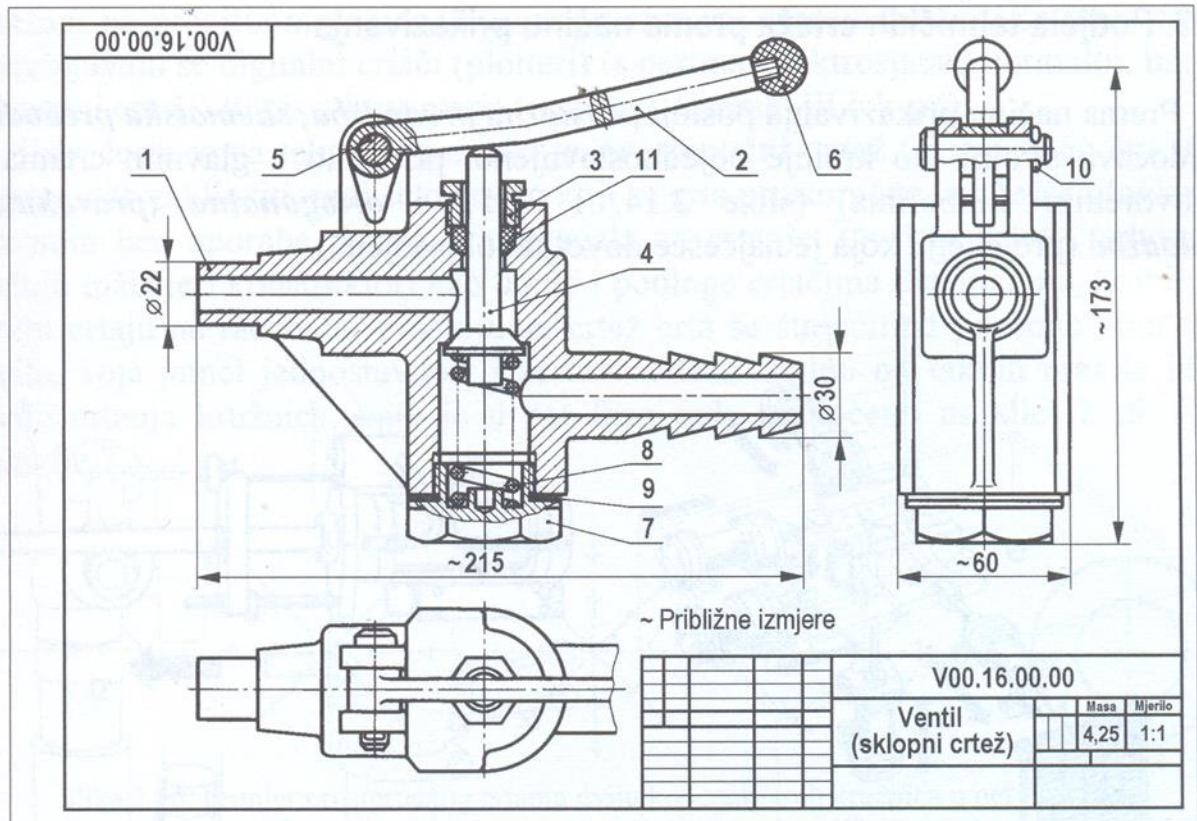
U razradi elemenata, prema namjeni, razlikuju se:



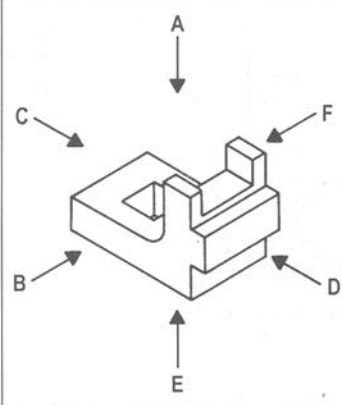
- **konceptijska skica** – prostoručna skica s osnovnim dimenzijama (*iskustva i orijentacijski proračun*) i popisom glavnih svojstava,
- **mjerna skica** – prostoručna skica sa svim dimenzijama (*detaljni proračun*),
- **radionički crtež** – element sa svim detaljima potrebnim za izradu,
- **sastvni crtež** – opis sklapanja komada u elemente,
- **ponudbeni crtež** – element s osnovnim dimenzijama i glavnim svojstvima (*ponude/tenderi/licitacije*),

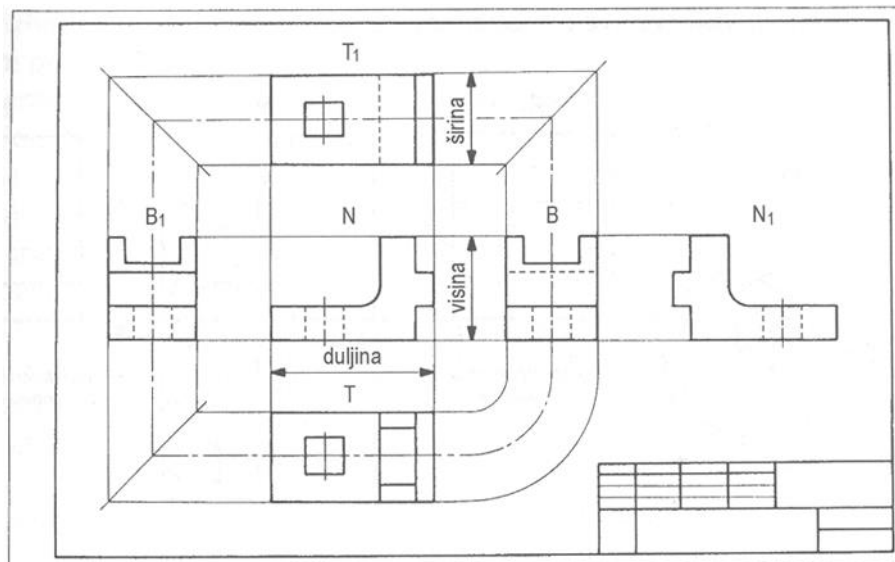
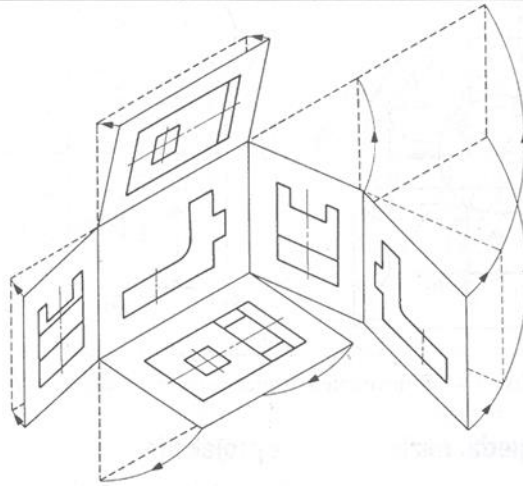
- **promidžbeni crtež** – pojednostavljeni crtež u prospektima.

### Sastavni crtež



## Raspored projekcija

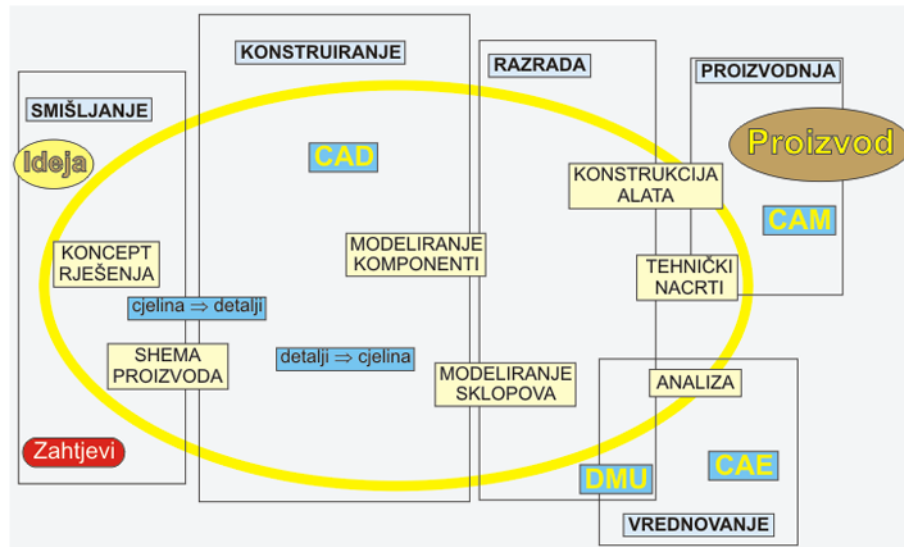
	Smjer gledanja			Projekcija	
				Naziv	Oznaka
	1.	A	Pogled odozgo	Tlocrt	T
	2.	B	Pogled sprijeda	Nacrt	N
	3.	C	Pogled slijeva	Desni bokocrt (Bokocrt)	B
	4.	D	Pogled zdesna	Lijevi bokocrt (Drugi bokocrt)	B <sub>1</sub>
	5.	E	Pogled odozdo	Gornji tlocrt (Drugi tlocrt)	T <sub>1</sub>
	6.	F	Pogled straga	Stražnji nacrt (Drugi nacrt)	N <sub>1</sub>



## 3.5 Računalno podržano oblikovanje

### 3.5.1 Osnove računalno podržanog oblikovanja

Primjena računala je danas uključena u sve faze proizvodnog procesa.



### Proračuni

Za provedbu proračuna je jedan od pogodnih programa MATLAB. Po potrebi koriste se Calculator (*matematičke operacije*) i/ili Excel (*tablična izračunavanja*).

### Crtanje

Za izradu tehničkih crteža je najpogodniji program AutoCAD. Po potrebi, koriste se CorelDraw (*poteškoće se javljaju pri dimenzioniranju i izradi sastavnica*) ili Photoshop (*raster grafika kod koje je teško mijenjati detalje*).

### 3.5.2 Namjena i pogodnosti programa AutoCAD

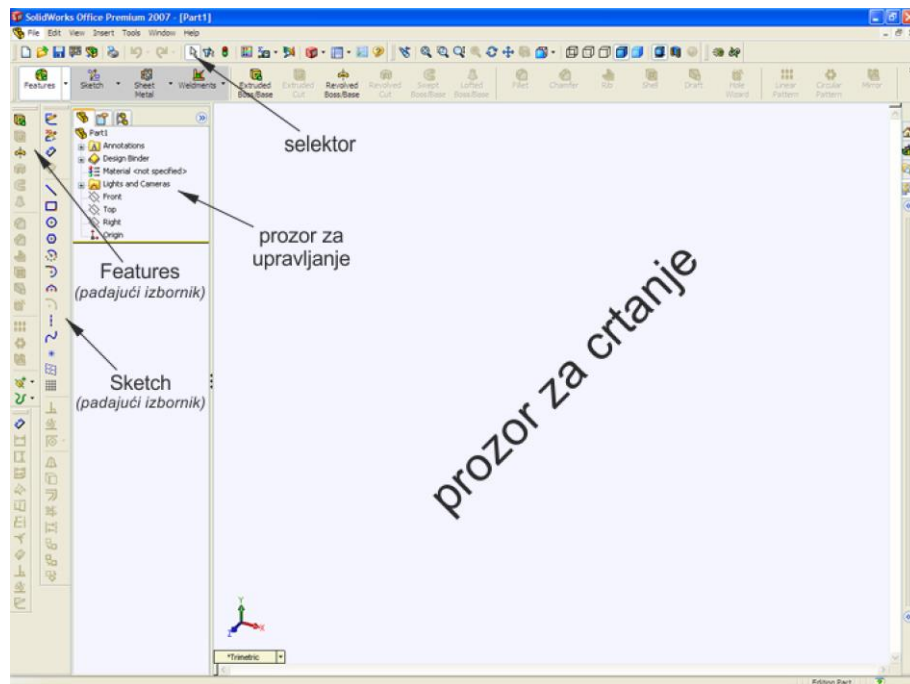
AutoCAD je program s vektorskom grafikom, namijenjen izradi tehničkih crteža.

Za dobivanje besprijekornih tehničkih crteža svakako treba utrošiti puno vremena (*koje se pri planiranju često značajno podcijeni*).

### 3.5.3 Namjena i pogodnosti programa SolidWorks

SolidWorks je vektorski program namijenjen 3D strojarskom računalno podržanom konstruiranju.

62 Elementi strojeva 1



## Dodaci

### Literatura

1. Osnove normi – ES1/03-1÷3, Wittel2011/1÷2, Haberhauer2011/36÷37, Pandžić2008/14, Jelaska2005/7÷8, Alfirević1996/529÷530, 531÷534, Budynas2011/12, Norton2006/42÷43, Pandžić2008/13-21, Jelaska 2005/36-59, Böge2007/299-375, Wittel2009/20-27/40-89, Muhs2006/15-32, Muhs2007/6-15/159-163/245-253, Brown2005/21-335, Shigley2004853-976/1113-1200, Oberg2008/203-298/645-745, Grote2007/116-175, Haberhauer2009/17-77, Steinhilper2008/22-169, Beer2008, Beer, Läßle2006, Läßle2007, Kraut1988/65-70/252-262/277-282, Niemann2005/87-211/268-294, Norton2006/52-95, Norton2006/160-497/926-963, Patnaik2004, Fleischer2009, Klebanov2008/357-419, Koludrović1994, Lingaiah2002/183-222/350-382/1201-1283, Koludrović1994/591-612, Hering1998/340-374/375-379/412-445,
2. Hrvatske norme – ES1/03-3, Pandžić2008/14, Jelaska2005/8, Alfirević1996/530÷531,
3. Međunarodne norme – ES1/03-3, Pandžić2008/14, Jelaska2005/6÷7, Alfirević1996/531, Wittel2011/2÷3, Haberhauer2011/37÷39,
4. Normni brojevi – ES1/03-3÷5, Pandžić2008/14÷15, Jelaska2005/8÷9, Wittel2011/3÷8, Haberhauer2011/39÷42,
5. Geometrija elemenata – ES1/03-5,
6. Tolerancije i tolerancije dužinskih izmjera – ES1/03-5, Wittel2011/21÷23,25÷26,33, Haberhauer2011/45÷47,43÷37, Pandžić2008/15÷17, Jelaska2005/9÷12, Alfirević1996/180,
7. Tolerancijska polja – ES1/03-6, Wittel2011/23÷24, Haberhauer2011/45÷46, Pandžić2008/17, Jelaska2005/12÷13, Alfirević1996/180,
8. Dosjedi – ES1/03-7, Wittel2011/26÷29,25÷26,33÷36, Haberhauer2011/47÷54, Pandžić2008/17÷19, Jelaska2005/13÷15, Alfirević1996/180,
9. Tolerancije oblika i položaja – Wittel2011/24÷25, Haberhauer2011/54÷61, Pandžić2008/19÷21, Jelaska2005/15÷16, Alfirević1996/179÷180,
10. Površine elemenata – ES1/03-7÷9, Wittel2011/29÷33, Haberhauer2011/61÷66, Jelaska2005/16÷17, Alfirević1996/178,
11. Inženjerska grafika
12. Prostorna grafika – ES1/03-9,
13. Perspektiva – ES1/03-9÷11,
14. Aksonometrija – ES1/03-12÷13,
15. Projekcije
16. Tehnički crteži – ES1/03-13÷14,
17. Raspored projekcija na tehničkim crtežima – ES1/03-15,
18. Namjena i pogodnosti programa AutoCAD – ES1/03-16,
19. Namjena i pogodnosti programa SolidWorksa – ES1/03-16÷17,

Podhorsky1963-1997, Shigley1996, Timings2005,

#### 3.1 Norme

Alfirevic1996, DIN2008, Grote2009/1586, Grote2007, Haberhauer2011, Haberhauer2009, Jelaska2005, Khan2006, Kljajin2010, Kraut1988, Künne12008, Kurz2010, Muhs2006, Muhs2007, Niemann2005, Oberg2004, Oberg2008, Pandžić2008, Steinhilper12008,

### 3.1.1 Tvorničke, nacionalne i međunarodne norme

### 3.1.2 Hrvatske norme

### 3.1.3 Europske norme

### 3.1.4 Normni brojevi

## 3.2 Geometrija elemenata

Ashby2002, Bećirović2000, Czichos2008, Drake1999, French1966, Green2005, Griffiths2003, Hering2004, Kljajin2010, Koludrović1994, Kraut1988, Kurz2010, Labish2008, Muhs2006, Muhs2007, Niemann2005, Norton1999, Oberg2004, Oberg2008, Pandžić2008, Shigley2004, Simmons2004, Steinhilper12008, Vitas1990, Whitney2004, Wittel2009,

### 3.2.1 Tolerancije

### 3.2.2 Sklopovi

### 3.2.3 Svojstva površina

### 3.2.4 Primjeri proračuna

## 3.3 Tehničko crtanje

Alfirevic1996, Bećirović2000, Drake1999, French1966, Griffiths2003, Hering2004, Hoischen1998, Kljajin2010, Koludrović1994, Kraut1988, Künne12008, Kurz2010, Labish2008, Loomis1951, Simmons2004, Spotts1961/251÷267,

### 3.3.1 Prostorna grafika

### 3.3.2 Tehnički crteži

## 3.4 Računalno podržano oblikovanje

Alfirevic1996, Ambrosius2008, Androić1994, Benhabib2003, Böge2011, Böge2007, Budynas2011, Budynas2008, Chang2008, Chapra2006, Finkelstein2003, Fleischer2009, Gekeler2006, Grote2009, Haberhauer2011, Haberhauer2009, Karam2006, Kljajin2010, Kurz2010, Kutz1998, Kutz12005, Letić1973, Lombard2007, Lyshevski2003, Marchand2001, Moore2008, Nahrstedt2005, Niemann2005/47÷49, Pahl2007, Pietruszka2006, Planchard2005, Planchard2001, Protić2002, Schier2011, Smith2000, 4xSolidWork2006, Ullman2010/118÷124, Whitney2004,

### 3.4.1 Proračuni

### 3.4.2 Crtanje

### 3.4.3 3D oblikovanje

## Dodaci

## Literatura

Usvajanje elemenata Böge20/132-141, Budynas/22-36, Lingaiah/183-207, Steinhilper/22-77,

Norme Jelaska/7-9, DIN/4-5,13-17,24-30,981-984,1052-1057, Haberhauer/47-77, Oberg/2677,

Norme i preporuke u strojarstvu Budynas/22

DIN norme DIN/18-21

Normni brojevi Jelaska/8-8, Budynas/1014, DIN/21-23

Sigurnost DIN/31-98

3.2 Geometrija elemenata Jelaska/9-17, Lingaiah/350-382, Mott/591-612, Niemann/268-294, Oberg/629, Shigley/853-869, Wittel/40-55,

Površine elemenata strojeva DIN/680-693, Hering/375-376,

Tolerancije dužinskih izmjera Childs/314-336, DIN/657-679,

Dosjedi Hering/377-379,

3.3 Tehničko crtanje DIN/331-400, Hering/340-374,

Budynas/1001-1004,





## Oznake

Carvill2003/299÷300, Haberhauer2011/637, Shigley1996/A.2,

$A$	–	površina, $\text{mm}^2$
$D/d$	–	vanjski/unutarnji promjer, mm
$F$	–	sila, N
$m$	–	masa, kg
$L/B/H$	–	duljina/širina/visina, mm
$p$	–	tlak, $\text{N}/\text{mm}^2$
$t$	–	vrijeme, s
$T$	–	apsolutna temperatura, K
$V$	–	volumen, $\text{m}^3$
$v$	–	brzina, m/s
$W$	–	rad, J
$\vartheta$	–	temperatura, $^{\circ}\text{C}$
$\eta$	–	koeficijent gubitaka energije, 1 ; dinamička viskoznost, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
$\rho$	–	gustoća, $\text{kg}/\text{dm}^3$ ; električna otpornost, $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

## Rječnik

Carvill2003/322÷340,

hrvatski	engleski	njemački
usvajanje		
konstruiranje	design	
oblikovanje		
proračun		
faktor sigurnosti	factor of safety	
norma	standard	Norm
normni broj		Norm Zahlen
nazivna izmjera	nominal size	
osnovna izmjera	basic size	
srednja izmjera	mean size	
odstupanje	deviation	
tolerancija	tolerance	
vanjski	outer	
granice	limits	
unutarnji	inner	
sklop		
dosjed	FIT	
labavi dosjed		
prijelazni dosjed		
prisni dosjed		
zračnost	clearance	
prijeklop	interference	
dosjedni sustav provrta		
dosjedni sustav rukavca		
hrapavost		
profil		
perspektiva		
aksonometrija		
tehnički crtež	engineering drawing	Technische Zeichnung
projekcija		
presjek		

## Podloge

PT 03.01 Tehnička pravila – izbor [Muhs (2006.), str. 5]

Norma	Datum	Naslov
DIN 323-1	08.74	Normzahlen und Normzahlreihen, Hauptwerte, Genauwerte, Rundwerte
DIN 323-2	11.74	Normzahlen und Normzahlreihen, Einführung
DIN 820-1	04.94	Normungsarbeit. Grundsätze
DIN 1301-1	10.02	Einheiten: Einheitennamen, Einheitenzeichen
DIN 1304-1	03.94	Formelzeichen, Allgemeine Formelzeichen
VDI 2211-1	04.80	Datenverarbeitung in der Konstruktion: Methoden und Hilfsmittel
VDI 2211-2	03.03	Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung: Berechnungen in der Konstruktion
VDI 2211-3	06.80	Datenverarbeitung in der Konstruktion: Maschinelle Herstellung von Zeichnungen
VDI 2220	05.80	Produktplanung: Ablauf, Begriffe und Organisation
VDI 2221	05.93	Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte
VDI 2222-1	06.97	Konstruktionsmethodik: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien
VDI 2223	01.04	Methodisches Entwerfen technischer Produkte
VDI 2225-1	11.97	Konstruktionsmethodik: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Vereinfachte Kostenermittlung
VDI 2225-2	07.98	–: –: Tabellenwerk
VDI 2225-3	11.98	–: –: Technisch-wirtschaftliche Bewertung
VDI 2225-4	11.97	–: –: Bemessungslehre
VDI 2234	01.90	Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur
VDI 2235	10.87	Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren: Methoden und Hilfen
VDI 2242-1	04.86	Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse; Grundlagen und Vorgehen
VDI 2243	07.02	Recyclingorientierte Produktentwicklung
VDI 2244	05.88	Konstruieren sicherheitsgerechter Erzeugnisse
VDI 2246 Blatt 1	03.01	Konstruieren instandhaltungsgerechter technischer Erzeugnisse: Grundlagen
VDI 2246 Blatt 2	03.01	–: –: Anforderungskatalog

PT 03.02 Tolerancije, dosjedi, svojstva površina [Muhs (2006.), str. 6]

Oznaka	Jedinica	Naziv
$D_{\min}, D_{\max}$	mm	Grenzwerte des Nennmaßbereiches
$EI, ES$	$\mu\text{m}$	unteres und oberes Abmaß der Innenpassfläche (Bohrung)
$ei, es$	$\mu\text{m}$	unteres und oberes Abmaß der Außenpassfläche (Welle)
$G$	mm	Grenzmaß, allgemein
$G_o, G_u$	mm	Höchstmaß (oberes-), Mindestmaß (unteres Grenzmaß)
$i, I$	mm	Toleranzfaktoren der entsprechenden Nennmaßbereiche

$k$	1	Faktor zur Berücksichtigung der Funktionsanforderung
$I_B, I_W$	mm	Istmaß der Bohrung. – der Welle
$N$	mm	Nennmaß, auf das sich alle Abmaße beziehen
$P$	$\mu\text{m}$	Passung, allgemein
$P_o, P_u$	$\mu\text{m}$	Höchstpassung. Mindestpassung
$P_T$	$\mu\text{m}$	Passtoleranz
$R_z$	$\mu\text{m}$	gemittelte Rautiefe
$S$	$\mu\text{m}$	Spiel, allgemein
$S_o, S_u$	$\mu\text{m}$	Höchstspiel. Mindestspiel
$T$	$\mu\text{m}$	Maßtoleranz
$T_B, T_W$	$\mu\text{m}$	Maßtoleranz der Bohrung. – der Welle
$\ddot{U}$	$\mu\text{m}$	Übermaß
$\ddot{U}_o, \ddot{U}_u$	$\mu\text{m}$	Höchstübermaß. Mindestübermaß

## PT 03.03 Tehnička pravila – izbor [Muhs (2006.), str. 9÷10]

Norma	Datum	Naslov
DIN 406-12	12.92	Technische Zeichnungen; Maßeintragung; Eintragung von Toleranzen für Längen- und Winkelmaße.
DIN 4760	06.82	Gestaltabweichungen; Begriffe. Ordnungssystem
DIN 4764	06.82	Oberflächen an Teilen für Maschinenbau und Feinwerktechnik: Begriffe nach der Beanspruchung
DIN 7150-2	08.77	ISO-Toleranzen und ISO-Passungen
DIN 7154-1,-2	08.66	ISO-Passungen für Einheitsbohrung
DIN 7155-1,-2	08.66	ISO-Passungen für Einheitswelle
DIN 7157	01.66	Passungsauswahl; Toleranzfelder, Abmaße. Passtoleranzen
DIN 7167	01.87	Zusammenhang zwischen Maß-, Form- und Parallelitätstoleranzen: Hüllbedingung ohne Zeichnungseintragung
DIN 7168	04.91	Allgemeintoleranzen; Längen- und Winkelmaße, Form und Lage; nicht für Neukonstruktionen
DIN 7172	04.91	Toleranzen und Grenzabmaße für Längenmaße über 3150 bis 10000 mm; Grundlagen, Grundtoleranzen. Grenzabmaße
DIN 7178-1÷-5	12.74 08.86 02.76	Kegeltoleranz- und Kegelpasssystem für Kegel von Verjüngung $C = 1:3$ bis $1:500$ und Längen von 6 bis 630 m: Kegeltoleranzsystem. Kegelpasssystem, Auswirkung der Abweichungen, axiale Verschiebemaße und Benennungen
DIN EN ISO 1302	06.02	Geometrische Produktspezifikation (GPS); Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation
DIN EN ISO 3274	04.98	Geometrische Produktspezifikation (GPS); Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten
DIN EN ISO 4288	04.98	Geometrische Produktspezifikation (GPS): Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren: Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächen
DIN EN ISO 11562	09.98	Geometrische Produktspezifikation (GPS); Oberflächenbeschaffenheit; Tastschnittverfahren; Meßtechnische Eigenschaften von phasenkorrekten Filtern
DIN EN ISO 13565-1	04.98	Geometrische Produktspezifikationen (GPS); Oberflächenbeschaffenheit. Tastschnittverfahren: Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften: Filterung und allgemeine Messbedingungen

DIN EN ISO 13565-2	04.98	–: –; –: –; Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung der Materialanteilkurve
DIN EN ISO 13565-3	08.00	–: –; –: –; Beschreibung der Höhe von Oberflächen mit der Wahrscheinlichkeitsdichtekurve
DIN ISO 286-1	11.90	ISO-System für Grenzmaße und Passungen; Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen
DIN ISO 286-2	11.90	–; Tabellen der Grundtoleranzgrade und Grenzabmaße für Bohrungen und Wellen
E DIN ISO 1101	08.95	Technische Zeichnungen; Form- und Lagetolerierung; Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lau
DIN ISO 2768-1	06.91	Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung
DIN ISO 2768-2	04.91	–; Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung
DIN ISO 5459	01.82	Technische Zeichnungen; Form- und Lagetolerierung; Bezüge und Bezugssysteme für geometrische Toleranzen
DIN ISO 8015	06.86	Technische Zeichnungen; Tolerierungsgrundsatz
VDI/VDE 2601	10.91	Anforderungen an die Oberflächengestalt zur Sicherung der Funktionstauglichkeit spanend hergestellter Flächen: Zusammenstellung der Kenngrößen
VDI/VDE 2602	09.83	Rauheitsmessung mit elektrischen Tastschnittgeräten

### PT 3.1 Izbor čelika za opće strojarstvo

Festigkeitskennwerte in  $N/mm^2$  für die Normabmessung  $d_N$   
 Schwingfestigkeitswerte nach DIN 743-3<sup>1)2)</sup> (Richtwerte)  
 Elastizitätsmodul  $E = 210\,000\, N/mm^2$ , Schubmodul  $G = 81\,000\, N/mm^2$

Kurznamen	Stahlsorte		A % min.	$R_{mN}$ min.	$R_{mN}$ $R_{p0,2N}$ min.	$\sigma_{dWN}$ ( $\sigma_{dStStN}$ )	$\sigma_{dWN}$ ( $\sigma_{dStStN}$ )	$\tau_{dWN}$ ( $\tau_{dStStN}$ )	relative Werkstoff- kosten <sup>3)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
	Werkstoff- nummer									
a) Unlegierte Baustähle, warmgewalzt, nach DIN EN 10025-2 Lieferzustand: +N oder +AR  Normabmessung $d_N = 16\, mm$										
S235JR S235J0 S235J2	1.0038 1.0114 1.0117		26	360	235	140 (235)	180 (280)	105 (165)	[1]	<b>Stahlsorten mit Werten für die Kerbschlagarbeit (z. B. J2: Kerbschlagarbeit 27 J bei <math>-20\, ^\circ C</math>)</b> Standardwerkstoff im Maschinen- und Stahlbau, bei mäßiger Beanspruchung; Flach- und Langerzeugnisse; gut bearbeitbar, Schweiß-eignung verbessert sich bei jeder Sorte von Gütegruppe JR bis K2
S275JR S275J0 S275J2	1.0044 1.0143 1.0145		23	430	275	170 (275)	215 (330)	125 (190)	1,05	Bei mittlerer Beanspruchung; gut bearbeitbar und umformbar, gute Schweiß-eignung; z. B. Wellen, Achsen, Hebel, Schweißteile
S355JR S355J0 S355J2 S355K2	1.0045 1.0553 1.0577 1.0596		22	510	355	205 (355)	255 (425)	150 (245)		Standardwerkstoff für hoch beanspruchte Tragwerke im Stahl-, Kran- und Brückenbau; hohe Streckgrenze, beste Schweiß-eignung; hoch beanspruchte Schweißteile im Maschinenbau
S450J0	1.0590		17	550	450	220 (400)	275 (505)	165 (310)		nur für Langerzeugnisse (Profile, Stäbe, Rohre)
S185  E295  E335  E360	1.0035  1.0050  1.0060  1.0070		18  20  16  11	310  490  590  690	185  295  335  360	-  195 (295)  235 (335)  275 (360)	-  245 (355)  290 (400)  345 (430)	-  145 (205)  180 (230)  205 (250)		<b>Stahlsorten ohne Werte für die Kerbschlagarbeit</b> (Erzeugnisse aus diesen Stählen dürfen nicht mit CE gekennzeichnet werden) untergeordnete Maschinenteile bei geringer Beanspruchung, pressschweißbar; z. B. Geländer, Treppen  gut bearbeitbar, meist verwendeter Maschinenbaustahl bei mittlerer Beanspruchung, pressschweißbar; z. B. Wellen, Achsen, Bolzen  für höher beanspruchte verschleißfeste Maschinenteile, pressschweißbar; z. B. Wellen, Ritzel, Spindeln  höchst beanspruchte verschleißfeste Maschinenteile in naturhartem Zustand, pressschweißbar; z. B. Nocken, Walzen, Gesenke, Steuerungsteile
b) Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, warm gewalzt, nach DIN EN 10025-3 und -4 Obere Zeile: normalglüh/normalisiert gewalzt (N) Untere Zeile: thermomechanisch gewalzt (M)  Normabmessung: $d_N = 16\, mm$										
S275N (NL) S275M (ML) S355N (NL) S355M (ML) S420N (NL) S420M (ML) S460N (NL) S460M (ML)	1.0490 1.8818 1.0545 1.8823 1.8902 1.8825 1.8901 1.8827		24  22  19  17	370  470  520  540	275  355  420  460	150 (275)  190 (355)  210 (390)  215 (395)	185 (330)  235 (425)  260 (480)  270 (495)	110 (190)  140 (245)  155 (295)  160 (305)	1,8       2,2	Für hochbeanspruchte geschweißte Bauteile bei Umgebungstemperatur und niedrigen Temperaturen; kein Vorwärmen erforderlich, hohe Schweißgeschwindigkeit möglich; z. B. Brückenteile, Schleusentore, Lagerbehälter, Wassertanks, Druckbehälter, Rohre, Schweißkonstruktionen im Maschinen- und Anlagenbau.  Lieferbare Gütegruppen: N und M $\rightarrow$ festgelegte Mindestwerte der Kerbschlagarbeit bis $-20\, ^\circ C$ NL und ML $\rightarrow$ festgelegte Mindestwerte der Kerbschlagarbeit bis $-50\, ^\circ C$

### PT 3.1 Izbor čelika za opće strojarstvo (nastavak 1)

Kurzname	Stahlsorte Werkstoff- nummer	A % min.	$R_{mV}$ min.	$R_{mN}$ $R_{p0,2N}$ min.	$\sigma_{dWN}$ ( $\sigma_{dStehn}$ )	$\sigma_{sWN}$ ( $\sigma_{sStehn}$ )	$\tau_{sWN}$ ( $\tau_{sStehn}$ )	relative Werkstoff- kosten <sup>3)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
c) Vergütungsstähle, unlegiert nach DIN EN 10083-2 und legiert nach DIN EN 10083-3, im vergüteten Zustand (+ QT). <sup>4)</sup> Eignung zum Flamm- und Induktionshärten.  Normabmessung $d_N = 16$ mm									
C22E C35E	1.1151 1.1181	20 17	500 630	340 430	200 (340) 250 (430)	250 (405) 315 (515)	150 (235) 190 (300)	1,6	gering beanspruchte Teile mit gleichmäßigem Gefüge und guter Oberflächenqualität; Hebel, Flansche, Scheiben, Wellen, Treibstangen; Oberflächenhärtung möglich
C40E C45E C50E C55E C60E 28Mn6	1.1186 1.1191 1.1206 1.1203 1.1221 1.1170	16 14 13 12 11 13	650 700 750 800 850 800	460 490 520 550 580 590	260 (460) 280 (490) 300 (515) 320 (540) 340 (570) 320 (540)	325 (550) 350 (590) 375 (625) 400 (660) 425 (695) 400 (680)	195 (320) 210 (340) 225 (360) 240 (380) 255 (400) 240 (410)	1,7	Triebwerksteile mit besonderer Gleichmäßigkeit und Reinheit; auf Verschleiß beanspruchte Teile; Oberflächenhärtung; Getriebewellen, Zahnräder, Radreifen, Kurbelwellen, Kurbelzapfen
38Cr2 46Cr2 34Cr4 37Cr4 41Cr4	1.7003 1.7006 1.7033 1.7034 1.7035	14 12 12 11 11	800 900 900 950 1000	550 650 700 750 800	320 (540) 360 (590) 360 (590) 380 (615) 400 (640)	400 (660) 450 (740) 450 (740) 475 (770) 500 (800)	240 (380) 270 (450) 270 (480) 285 (500) 300 (525)	1,7	Hebel, Wellen, Bolzen, Zahnräder, Schrauben, Schnecken, Schmiedeteile
25CrMo4 34CrMo4 42CrMo4 50CrMo4	1.7218 1.7220 1.7225 1.7228	12 11 10 9	900 1000 1100 900	700 800 900 900	360 (590) 400 (640) 440 (685) 440 (685)	450 (740) 500 (800) 550 (855) 550 (855)	270 (480) 300 (525) 330 (565) 330 (565)		Einlassventile, Wellen, Fräsdorne, Keilwellen, Kurbelwellen, Kurbelbolzen, große Getriebewellen
36CrNiMo4 34CrNiMo6 30CrNiMo8 36NiCrMo16 51CrV4	1.6511 1.6582 1.6580 1.6773 1.8159	10 9 9 9 9	1100 1200 1250 1050 1100	900 1000 1050 1050 900	440 (685) 480 (725) 500 (750) 500 (750) 440 (685)	550 (855) 600 (910) 625 (935) 625 (935) 550 (855)	330 (565) 360 (605) 375 (625) 375 (625) 330 (565)	2,4 2,7	höchstbeanspruchte Bauteile im Fahrzeug- und Maschinenbau; große Getriebewellen, Turbinenläufer, Zahnräder
d) Einsatzstähle nach DIN EN 10084 im blind gehärteten Zustand <sup>4)</sup>  Normabmessung $d_N = 16$ mm									
C10E C15E	1.1121 1.1141	16 14	500 800	310 545	200 (310) 320 (540)	250 (370) 400 (655)	150 (215) 240 (380)	1,1	direkt härtbare kleine Teile mit niedriger Kernfestigkeit; Bolzen, Buchsen, Zapfen, Hebel, Gelenke, Spindeln
17Cr3 28Cr4 16MnCr5	1.7016 1.7030 1.7131	11 10 10	800 900 1000	545 620 695	320 (540) 360 (590) 400 (640)	400 (655) 450 (740) 500 (800)	240 (380) 270 (430) 300 (480)	1,7	Teile mit hoher Beanspruchung; kleinere Zahnräder und Wellen, Bolzen, Nockenwellen, Rollen, Spindeln, Messzeuge
20MnCr5 20MoCr4	1.7147 1.7321	8 10	1200 900	850 620	480 (725) 360 (590)	600 (910) 450 (740)	360 (590) 270 (430)		direkt härtbare Teile mit hoher Kernfestigkeit; mittlere Zahnräder und Wellen im Getriebe- und Fahrzeugbau
22CrMoS3-5 20NiCrMo2-2	1.7333 1.6523	8 10	1100 1100	775 775	440 (685) 440 (685)	550 (855) 550 (855)	330 (535) 330 (535)		hoch beanspruchte Getriebeteile mit sehr guter Zähigkeit; Direkthärtung
17CrNi6-6 18CrNiMo7-6	1.5918 1.6587	9 8	1200 1200	850 850	480 (725) 480 (725)	600 (910) 600 (910)	360 (590) 360 (590)	2,1	Teile mit höchster Beanspruchung, Ritzel, Nocken, Wellen, Kegel-Tellerräder, Ketten-glieder
e) Nitrierstähle nach DIN EN 10085 im vergüteten Zustand (+ QT)  Normabmessung $d_N = 100$ mm									
31CrMo12 31CrMoV9 33CrMoV12-9 34CrAlMo5-10 34CrAlNi7-10	1.8515 1.8519 1.8522 1.8507 1.8550	10 9 11 14 10	1030 1100 1150 800 900	835 900 950 600 680	410 (650) 440 (685) 460 (705) 320 (540) 360 (590)	515 (815) 550 (855) 575 (880) 400 (680) 450 (740)	310 (540) 330 (565) 345 (585) 240 (415) 270 (470)	2,6	verschleißbeanspruchte Bauteile mit hohem Reinheitsgrad bis 250 mm Dicke; schwere Kurbelwellen, Kalandrwalzen, Feinspindel warmfeste Verschleißteile bis 100 mm Dicke; Ventilspindeln, Schleifmaschinenspindeln verschleißbeanspruchte Teile bis 250 mm Dicke; Bolzen, Spindeln dauerhafteste Verschleißteile bis über 450 °C und 70 mm Dicke; Heißdampf-maturenteile für große verschleißbeanspruchte Bauteile; schwere Tauchkolben, Kolbenstangen

## PT 3.1 Izbor čelika za opće strojarstvo (nastavak 2)



Kurzname	Stahlserie Werkstoff- nummer	A % min.	R <sub>min</sub> min.	R <sub>0,2N</sub> R <sub>p0,2N</sub> min.	σ <sub>0,2MN</sub> (σ <sub>0,2StEN</sub> )	σ <sub>0,2MN</sub> (σ <sub>0,2StEN</sub> )	τ <sub>0,2MN</sub> (τ <sub>0,2StEN</sub> )	relative Werkstoff- kosten <sup>7)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
f) Stähle für Flamm- und Induktionshärtungen nach DIN 17212 im vergüteten Zustand (+QT) (DIN 17212: 1972-08 wurde ersatzlos zurückgezogen und durch DIN EN 10083 ersetzt, s. TB 1-1c)									
Normabmessung d <sub>N</sub> = 16 mm									
Cf35	1.1183	17	620	420	250 (420)	310 (505)	185 (290)		vergütete Stähle, die sich durch örtliches Erhitzen und Abschrecken in der Randzone härten lassen; für Bauteile deren Oberflächen hohem Verschleiß oder großer Flächenpressung ausgesetzt sind; geeignet für Ab-brennstumpfschweißung
Cf45	1.1193	14	700	480	280 (480)	350 (575)	210 (335)		geringer beanspruchte Bauteile mit besonderer Gleichmäßigkeit und Reinheit
Cf53	1.1213	12	740	510	295 (510)	370 (610)	220 (355)		Triebwerksteile mit besonderer Gleichmäßigkeit und Reinheit; Ritzel, Wellen
Cf70	1.1249	11	780	560	310 (530)	390 (665)	235 (390)		Getriebewellen, Nockenwellen, Kolbenbolzen, Zylinderbüchsen
45Cr2	1.7005	12	880	640	350 (580)	440 (730)	265 (445)		dünnwandige Teile zur Schalenhärtung; kleine Zahnräder, Spindeln, Armwellen
38Cr4	1.7043	11	930	740	370 (605)	465 (760)	280 (495)		dickere Bauteile des Maschinen- und Fahrzeugbaus mit höherer Kernfestigkeit; Kurbelwellen, Getriebewellen, Kugelbolzen, Keilwellen, Zahnräder
42Cr4	1.7045	11	980	780	390 (630)	490 (790)	295 (515)		
41CrMo4	1.7223	10	1080	880	430 (675)	540 (845)	325 (560)		
g) Automatenstähle nach DIN EN 10087 (Die Stähle werden auch mit einem Zusatz von Blei (Pb) für verbesserte Zerspanung geliefert).									
Normabmessung d <sub>N</sub> = 16 mm									
11SMn30	1.0715		380					1,8	unlegierte Stähle mit guter Zerspanbarkeit und Spanbrüchigkeit durch Schwefelzusatz; bleilegierte Sorten ermöglichen höhere Schnittgeschwindigkeit, doppelte Standzeit und verbesserte Oberfläche; durch hohen S- und P-Gehalt nur bedingt schweißgeeignet
11SMn37	1.0736		380						zur Wärmebehandlung nicht geeignet; Kleinteile mit geringer Beanspruchung; Bolzen, Wellen, Stifte, Schrauben
10S20	1.0721		360					1,9	zum Einsatzhärten geeignet; verschleißfeste Kleinteile, Wellen, Bolzen, Stifte
15SMn13	1.0725		430						Festigkeitswerte in <b>unbehandeltem Zustand</b>
35S20	1.0726	15	630	430	250 (430)	315 (515)	190 (300)		direkt härtender Automatenstahl; große Teile mit hoher Beanspruchung; Wellen, Gewindeteile, Spindeln
36SMn14	1.0764	14	700	460	280 (460)	350 (550)	210 (320)	2,0	Festigkeitswerte im <b>vergüteten Zustand (+QT)</b>
38SMn28	1.0760	15	700	460	280 (460)	350 (550)	210 (320)		
44SMn28	1.0762	16	700	480	280 (480)	350 (575)	210 (330)		
46S20	1.0727	12	700	490	280 (490)	350 (590)	210 (340)		
h) Blankstähle nach DIN EN 10277-2, -3 in kalzogenem Zustand (+C)									
Normabmessung d <sub>N</sub> = 16 mm									
S235JR/G2C	1.0122	9	420	300	165 (300)	210 (360)	125 (210)	1,6	Blankstahl aus Baustählen; Achsen, Bolzen, Stifte, Befestigungselemente, Aufspannplatten
S355J2G3C	1.0569	7	600	450	240 (430)	300 (540)	180 (310)		kostenreduzierte Herstellung von Maschinenteilen ohne weitere Oberflächenbearbeitung
E295GC	1.0533	7	600	420	240 (420)	300 (505)	180 (290)	1,7	
E335GC	1.0543	6	680	480	270 (475)	340 (575)	205 (330)		
35S20	1.0726	7	590	400	235 (400)	295 (480)	175 (275)		
44SMn28	1.0762	5	710	530	285 (495)	355 (620)	210 (365)		
C10	1.0301	9	430	300	170 (300)	215 (360)	130 (210)		
C15	1.0401	8	480	340	190 (340)	240 (410)	145 (235)		Blankstahl aus Einsatzstählen; Bolzen, Spindeln, Kleinteile
C35	1.0501	7	600	420	240 (420)	300 (505)	180 (290)	1,7	Blankstahl aus Vergütungsstählen; Wellen, Stangen, Schienen, Hebel, Druckstücke, Grundplatten
C45	1.0503	6	710	500	285 (495)	355 (600)	210 (345)	1,8	
C60	1.0601	5	780	550	310 (530)	390 (660)	235 (380)		

## PT 3.1 Izbor čelika za opće strojarstvo (nastavak 3)

Kurzname	Stahlsorte Werkstoffnummer	A % min.	R <sub>mN</sub> min.	R <sub>eN</sub> R <sub>p0,2N</sub> min.	σ <sub>dWN</sub> (σ <sub>dSchN</sub> )	σ <sub>bWN</sub> (σ <sub>bSchN</sub> )	τ <sub>wN</sub> (τ <sub>SchN</sub> )	relative Werkstoffkosten <sup>3)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele	
i) Nichtrostende Stähle nach DIN EN 10088-3 (Halbzeuge, Stäbe und Profile) Behandlungszustand: ferritische Stähle: gegläht (+A) martensitische Stähle: vergütet (+QT, z. B. QT700) austenitische und austenitisch-ferritische Stähle: lösungsgeglüht (+AT) Praktisch kein technologischer Größeneinfluss										
X2CrMoTiS18-2	1.4523	15	430	280	170 (280)	215 (335)	130 (195)		säurebeständige Teile in der Textilindustrie Automatenstahl; Bolzen, Befestigungselemente Chipträger, Bestecke, Innenausbau Verbindungselemente, tiefgezogene Formteile	
X6CrMoS17	1.4105	20	430	250	170 (250)	215 (300)	130 (175)		<b>Ferritische Stähle</b> gute Schweiß-eignung, warmfest, besondere magnetische Eigenschaften, schlecht zerspanbar, kaltumformbar, nicht beständig gegen interkristalline Korrosion E = 220000 N/mm <sup>2</sup>	
X6Cr13	1.4000	20	400	230	160 (230)	200 (275)	120 (160)			
X6Cr17	1.4016	20	400	240	160 (240)	200 (285)	120 (165)			
X20Cr13	1.4021	13	700	500	280 (490)	350 (600)	210 (350)	3,2 Armaturen, Flansche, Federn, Turbinenteile Röhre, Wellen, Spindeln, Verschleißteile Automatenstahl; Dreh-teile, Apparatebau Verbindungselemente, Schneidwerkzeuge, verschleißbeanspruchte Bauteile		
X39CrMo17-1	1.4122	12	750	550	300 (515)	375 (645)	225 (380)		<b>Martensitische Stähle</b> härter, gut zerspanbar, hohe Festigkeit, magnetisch, bedingt schweißbar E = 216000 N/mm <sup>2</sup>	
X14CrMoS17	1.4104	12	650	500	260 (460)	325 (575)	195 (345)			
X12CrS13	1.4005	12	650	450	260 (450)	325 (540)	195 (310)			
X3CrNiMo13-4	1.4313	15	780	620	310 (530)	390 (665)	235 (425)			
X17CrNi16-2	1.4057	14	800	600	320 (540)	400 (680)	240 (415)	4,0	5,8 universeller Einsatz; Bauwesen, Fahrzeugbau, Lebensmittelindustrie Automatenstahl; Maschinen- und Verbindungselemente Haushaltswaren, Fotoindustrie, Sanitär Offshore-Technik, Druckbehälter, geschweißte Konstruktionsteile; Achsen, Wellen Bleicherien, Lebensmittel-, Öl- und Farbenindustrie Behälter (Tankwagen), Heizkessel, Kunstharz- und Gummiindustrie tragende Bauteile	
X5CrNi18-10	1.4301	45	500	190	200	250	150	<b>Austenitische Stähle</b> gute Schweiß-eignung, gut kaltumformbar, schwer zerspanbar, unmagnetisch E = 200000 N/mm <sup>2</sup>		
X8CrNiS18-9	1.4305	35	500	190	200	250	150			
X6CrNiTi18-10	1.4541	40	500	190	200	250	150			
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	40	520	220	200	250	150			
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	40	580	280	230	290	175			
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	40	500	200	200	250	150			
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	40	500	200	200	250	150			
<b>Alle austenitischen Sorten kaltverfestigt</b>										
Zugfestigkeitsstufe	C700 C800	20 12	700 800	350 500	280 (350) 320 (500)	350 (420) 400 (600)	210 (240) 240 (345)			
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	2,5	650	450	260 (450)	325 (540)	195 (310)		Bauteile für hohe chemische und mechanische Beanspruchung; Wasser- und Abwassertechnik, Offshore-technik, Zellstoff- und chemische Industrie, Tankbau, Zentrifugen, Fördertechnik	
X2CrNiN23-4	1.4362	2,5	600	400	240 (400)	300 (480)	180 (275)	<b>Austenitisch-ferritische Stähle</b> (Duplex-Stähle) beständig gegen Spannungsrisskorrosion, hohe Erosionsbeständigkeit und Ermüdungsfestigkeit E = 200000 N/mm <sup>2</sup>		
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	2,5	730	530	290 (500)	365 (630)	220 (365)			

- 1) Richtwerte:  $\sigma_{bW} \approx 0,5 \cdot R_m$ ,  $\sigma_{dW} \approx 0,4 \cdot R_m$ ,  $\tau_{wN} \approx 0,3 \cdot R_m$ .
- 2) A Bruchdehnung;  $d_N$  Bezugsabmessung (Durchmesser, Dicke) des Halbzeugs nach der jeweiligen Werkstoffnorm;  $R_{mN}$  Normwert der Zugfestigkeit für  $d_N$ ;  $R_{eN}$  Normwert der Streckgrenze für  $d_N$ ;  $R_{p0,2N}$  Normwert der 0,2 %-Dehngrenze für  $d_N$ ;  $\sigma_{dWN}$  Wechselfestigkeit Zug/Druck für  $d_N$ ;  $\sigma_{bWN}$  Biege-wechselfestigkeit für  $d_N$ ;  $\tau_{wN}$  Torsionswechselfestigkeit für  $d_N$ ;  $\sigma_{dSchN}$  Schwellfestigkeit Zug/Druck für  $d_N$ ;  $\sigma_{bSchN}$  Biegeschwellfestigkeit für  $d_N$ ;  $\tau_{SchN}$  Torsionschwellfestigkeit für  $d_N$ .  
Für die Schwellfestigkeit gilt:  $\sigma_{Sch} = \frac{2 \cdot \sigma_w}{\psi_\sigma + 1}$ . Sie wird nach oben begrenzt durch die Fließgrenzen  $R_e$ ,  $\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e$  und  $\tau_{GF} = 1,2 \cdot R_e / \sqrt{3}$ . Die Gleichung gilt für Zug/Druck und Biegung, aber auch für Torsion, wenn  $\sigma$  durch  $\tau$  und  $\psi_\sigma$  durch  $\psi_\tau$  ersetzt wird.
- 3) Sie sind auf das Volumen bezogen und geben an, um wieviel ein Werkstoff (Rundstahl mittlerer Abmessung bei Bezug von 1000 kg ab Werk) teurer ist als ein gewalzter Rundstahl aus S235JR. Bei Bezug kleiner Mengen und kleiner Abmessungen muss mit höheren Kosten gerechnet werden (siehe auch VDI-Richtlinie 2225-2).
- 4) Bei den unlegierten Vergütungsstählen weisen die Edlstähle mit vorgeschriebenem max. S-Gehalt (z. B. C45E) bzw. vorgeschriebenem Bereich des S-Gehaltes (z. B. C45R) und die entsprechenden Qualitätsstähle (z. B. C45) die gleichen Festigkeitseigenschaften auf.
- 5) Festigkeitswerte nur zur Information. DIN EN 10084 gibt im Anhang F lediglich die Mindestzugfestigkeit an.

PT 3.2 Ljevovi na bazi željeza

Festigkeitskennwerte in N/mm<sup>2</sup>

Werkstoffbezeichnung		A % min.	R <sub>mN</sub> min.	R <sub>p0,2N</sub> min.	σ <sub>0,2N</sub>	E kN/mm <sup>2</sup>	relative Werkstoff- kosten <sup>1)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele	
Kurzzeichen	Nummer								
a) Gusseisen mit Lamellengraphit nach DIN EN 1561								am meisten verwendeter Gusswerkstoff mit gutem Formfüllungsvermögen; für verwickelte und relativ dünnwandige Teile; spröde, hohe Druckfestigkeit [ca. (3 ... 4) R <sub>m</sub> ], günstige Gleiteigenschaften, große innere Dämpfung, kernempfindlich, sehr gut zerspanbar, bedingt schweißgeeignet	
Normabmessung des Probestückes (gleichwertiger Rohgussdurchmesser): d <sub>N</sub> = 20 mm									
EN-GJL-100	EN-JL1010	0,8 bis 0,3	100	–	–	–	3		nicht für tragende Teile; bei besonderen Anforderungen an Wärmeleitfähigkeit, Dämpfung und Bearbeitbarkeit; Bauguss, Handelguss
EN-GJL-150	EN-JL1020		150	–	70	78 bis 103			für höher beanspruchte dünnwandige Teile; leichter Maschineguss; Gehäuse, Ständer, Steuerscheiben
EN-GJL-200	EN-JL1030		200	–	90	88 bis 113			übliche Sorte im Maschinenbau; mittlerer Maschineguss; Lagerböcke, Hebel, Riemenscheiben
EN-GJL-250	EN-JL1040		250	–	120	103 bis 118			druckdichter und wärmebeständiger Guss (bis ca. 400 °C); Zylinder, Armaturen, Pumpengehäuse
EN-GJL-300	EN-JL1050		300	–	140	108 bis 137			für hochbeanspruchte Teile; Motorständer, Lagerschalen, Bremscheiben
EN-GJL-350	EN-JL1060		350	–	145	123 bis 143		für Ausnahmefälle (bei höchster Beanspruchung), Teile mit gleichmäßiger Wanddicke; Turbinengehäuse, Pressenständer	
b) Gusseisen mit Kugelgraphit nach DIN EN 1563								hochwertiger Gusswerkstoff, welcher die jeweiligen Vorteile von G und GJL auf sich vereinigt; stahlähnliche Eigenschaften, gut gieß- und bearbeitbar; ferritische Sorten EN-GJS-350-22 und EN-GJS-400-18 auch mit gewähltester Kerbschlagarbeit	
Normabmessung des Probestückes (gleichwertiger Rohgussdurchmesser): d <sub>N</sub> = 60 mm									
EN-GJS-350-22	EN-JS1010	22	350	220	180	169	4,5		Gefüge vorwiegend Ferrit; gut bearbeitbar, hohe Zähigkeit, geringe Verschleißfestigkeit; Pumpen- und Getriebegehäuse, Achsschenkel, Vorderachstrücken, Absperrklappen, Schwengelager
EN-GJS-400-18	EN-JS1020	18	400	250	195	169			Gefüge vorwiegend Ferrit; kostengünstige Sorte zwischen EN-GJS-400-18 und EN-GJS-500-7; Schleuderguss
EN-GJS-450-10	EN-JS1040	10	450	310	210	169			Gefüge vorwiegend Ferrit-Perlit bzw. Perlit-Ferrit; gut bearbeitbar, mittlere Verschleißfestigkeit, mittlere Festigkeit und Zähigkeit; Bremsenteile, Lagerböcke, Pleuelstangen, Kurbelwellen, Presseständer
EN-GJS-500-7	EN-JS1050	7	500	320	224	169			Gefüge vorwiegend Perlit; hohe Verschleißfestigkeit; Seiltrommeln, Turbinenschaukeln, Zahnkränze
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	3	600	370	248	174			Gefüge Perlit bzw. wärmebehandelter Martensit; gute Oberflächenhärbarkeit u. Verschleißfestigkeit; dickwandige Gussstücke
EN-GJS-700-2	EN-JS1070	2	700	420	280	176			Gefüge meist wärmebehandelter Martensit; sehr gute Verschleißfestigkeit, ausreichende Bearbeitbarkeit; Zahnkränze, Umformwerkzeuge
EN-GJS-800-2	EN-JS1080	2	800	480	304	176			
EN-GJS-900-2	EN-JS1090	2	900	600	317	176			
c) Bainitisches Gusseisen nach DIN EN 1564								bainitisches Gusseisen mit Kugelgraphit ADI (Aus-tempered Ductile Iron) wird durch eine Vergütungsbehandlung von Gussstücken aus GJS hergestellt, es entsteht ein Mikrogefüge aus nadligem Ferrit und Restaustenit ohne Karbide; hochfester Konstruktionswerkstoff mit hoher Plastizität und Zähigkeit	
Normabmessung des Probestückes (gleichwertiger Rohgussdurchmesser): d <sub>N</sub> = 60 mm									
EN-GJS-800-8	EN-JS1100	8	800	500	450	163	(7)		ermöglicht Leichtbau insbesondere von Fahrzeugteilen durch Fähigkeit zur Kaltverfestigung, große Gestaltungsfreiheit, geringe Geräuschemission von Konstruktionselementen und gute Dämpfungseigenschaften; Zahnkränze, Radnaben, Achsgehäuse, Gleitplatten, Federsättel, Blattfederlagerungen, Pickelarme für Gleisbaumaschinen
EN-GJS-1000-5	EN-JS1110	5	1000	700	485	160			
EN-GJS-1200-2	EN-JS1120	2	1200	850	415	158			
EN-GJS-1400-1	EN-JS1130	1	1400	1100		156			
d) Gusseisen mit Vermiculargraphit (nach VDG-Merkblatt W 50)								Gusseisen mit wurmförmigem Graphit, dessen Eigenschaften zwischen GJL und GJS liegen; bessere Festigkeit, Zähigkeit, Steifigkeit, Oxidations- und Temperaturwechselbeständigkeit als GJL; bessere Gießeigenschaften, Bearbeitbarkeit und Dämpfungsfähigkeit als GJS	
Normabmessung des Probestückes (gleichwertiger Rohgussdurchmesser): d <sub>N</sub> = 20 mm									
GJV-300		1,5	300	240	150	120 bis 160	(4)		Gefüge vorwiegend Ferrit bzw. Perlit; für durch erhöhte Temperatur und Temperaturwechsel beanspruchte Bauteile; Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse, Turboladergehäuse, Abgasdome und -krümmer, Bremscheiben, Schwungräder, Stahlwerkskolilen
GJV-350		1,5	350	260	180				
GJV-400		1,0	400	300	200				
GJV-450		1,0	450	340	220				
GJV-500		0,5	500	380	250				

## PT 3.1 Ljevovi na bazi željeza (nastavak 1)

Werkstoffbezeichnung		A % min.	R <sub>mN</sub> min.	R <sub>p0,2N</sub> min.	σ <sub>WN</sub>	E kN/mm <sup>2</sup>	relative Werkstoff- kosten <sup>1)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele	
Kurzzeichen	Nummer								
e) Temperguss nach DIN EN 1562								erhält durch Glühen stahlähnliche Eigenschaften; für Stückgewichte bis 100 kg in der Serienfertigung sehr wirtschaftlich; gut zerspanbar, Fertigungs- und Konstruktionsschweißung möglich, geeignet zum Randschichthärten; oft im Wettbewerb mit GJS und Schmiedeteilen	
Normabmessung des Probestückes (gleichwertiger Rohgussdurchmesser): d <sub>N</sub> = 15 mm									
EN-GJMW-350-4	EN JM1010	4	350	–	150	175 bis 195	5		<b>entkohlend geblühter (weißer) Temperguss für dünnwandige Gussstücke (≤8 mm)</b> gering beanspruchte Teile, kostengünstig; Beschlagteile, Fittings, Förderkettenglieder
EN-GJMW-360-12	EN JM1020	12	360	190	155				für Festigkeitsschweißung geeignet; Ventil- und Lenkgehäuse, Flansche, Verbundkonstruktionen mit Walzstahl
EN-GJMW-400-5	EN JM1030	5	400	220	170				Standardsorte, gut schweißbar, für dünnwandige Teile; Treilagergehäuse, Fittings, Gerüstteile, Griffe, Keilschlösser
EN-GJMW-450-7	EN JM1040	7	450	260	190				gut zerspanbar, schlagfest; Rohrleitungsarmaturen, Trägerklappen, Gerüstteile, Schalungsteile, Isolatorrenkappen, Fahrwerksteile
EN-GJMW-550-4	EN JM1050	4	550	340	230				<b>nicht entkohlend geblühter (schwarzer) Temperguss</b> für druckdichte Teile; Hydraulikguss, Steuerblöcke, Ventilkörper
EN-GJMB-300-6	EN JM1110	6	300	–	130				gut zerspanbar, zäh; Kettenglieder, Gehäuse, Beschläge, Fittings, Lkw-Bremsträger, Kupplungsteile, Klemmbacken, Steckschlüssel
EN-GJMB-350-10	EN JM1130	10	350	200	150				Alternative zu Schmiedeteilen, ideal für Randschichthärtung; Kurbelwellen, Bremsträger, Gehäuse, Nockenwellen, Hebel, Radnaben, Gelenkgehäuse, Schaltgabeln
EN-GJMB-450-6	EN JM1140	6	450	270	190				hohe Festigkeit bei ausreichender Zerspanbarkeit, gute Alternativen zu Schmiedeteilen; Pleuel, Schaltgabeln, Teillräder, Gerüstträger
EN-GJMB-500-5	EN JM1150	5	500	300	210				
EN-GJMB-550-4	EN JM1160	4	550	340	230				
EN-GJMB-600-3	EN JM1170	3	600	390	250				
EN-GJMB-650-2	EN JM1180	2	650	430	265				
EN-GJMB-700-2	EN JM1190	2	700	530	285				
EN-GJMB-800-1	EN JM1200	1	800	600	320				
f) Austenitisches Gusseisen nach DIN EN 13835 (Handelsname Ni-Resist)								vielseitig verwendbarer hoch legierter Gusseisenwerkstoff mit 12 bis 36 % Nickelgehalt; die genannten Sorten – zwei mit Lamellen – und zehn mit Kugelgraphit – sind gut gieß- und bearbeitbar; je nach Zusammensetzung und Graphitusbildung weisen sie eine Vielzahl häufig geforderter Eigenschaften auf	
kein technologischer Größeneinfluss innerhalb der Abmessungsbereiche der Norm									
EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2	EN JL3011	2	170	–	75	85 bis 105	(6)		korrosionsbeständig gegen Alkalien, verdünnte Säuren und Seewasser, gute Gleiteigenschaften, geringe Festigkeit und Zähigkeit, hohe Dämpfungsfähigkeit, preiswert für Kolbenringträger, gering mechanisch beanspruchte Bauteile, Laufbuchsen
EN-GJSA-XNiCr20-2	EN JS3011	7 bis 20	370	210	160	112 bis 130			ähnlich wie GJLA-XNiCuCr15-6-2, jedoch bessere mechanische Eigenschaften; für Pumpen, Ventile, Kompressoren, Turboladegerhäuse, nicht magnetisierbare Gussstücke
EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2	EN JS3061	10 bis 20	380	210	160	130 bis 150			höchste Hitze- und Temperaturbeständigkeit, besonders hohe Zunderbeständigkeit, erhöhte Warmfestigkeit, niedriger Ausdehnungskoeffizient; für Abgaskrümmer, Turboladegerhäuse und Gasturbinengehäuseteile
EN-GJSA-XNiCr30-3	EN JS3081	7 bis 18	370	210	160	92 bis 105			höhere Korrosions-, Hitze- und Temperaturwechselbeständigkeit, magnetisierbar; Anwendung wie GJSA-XNiCr20-2, bei erhöhten Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit
EN-GJSA-XNiSiCr30-5-5	EN JS3091	1 bis 4	390	240	160	90		hohe Korrosions-, Hitze- und Temperaturwechselbeständigkeit, besonders hohe Zunderbeständigkeit, gute Verschleißbeständigkeit, magnetisierbar; für Bauteile mit erhöhten Anforderungen an die Hitze- und Verschleißbeständigkeit, Ofenbauteile	

## PT 3.1 Ljevovi na bazi željeza (nastavak 2)

Werkstoffbezeichnung		A %	R <sub>mN</sub>	R <sub>p0,2N</sub>	σ <sub>WN</sub>	E	relative Werkstoff- kosten <sup>1)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
Kurzzeichen	Nummer	min.	min.	min.		kN/mm <sup>2</sup>		
g) Stahlguss für allgemeine Anwendung nach DIN EN 10293 (Es bedeuten: +N → Normalglühen, +QT oder +QT1 oder +QT2 → Vergüten (Härten in Luft oder Flüssigkeit + Anlassen)) Normabmessung des Probestückes (gleichwertiger Rohrgussdurchmesser) d <sub>N</sub> = 100 mm Bei hochlegierten Sorten kein Größeneinfluss.								direkt in Formen vergossener Stahl, je nach verwendeter Stahlsorte und Wärmebehandlung optimal einstellbare Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit, Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit und Einsatztemperaturen, idealer Konstruktionswerkstoff durch sehr gute Schweißbarkeit, mechanische Eigenschaften weitgehend richtungsunabhängig.
GE 200 +N	1.0420	25	380	200	190	210	6	<b>unlegierter Stahlguss</b> (0,1 bis 0,5 % C), wird im Temperaturbereich zwischen -10 °C und +300 °C für Bauteile mit mittlerer Beanspruchung eingesetzt; Maschinenständer, Hebel, Zahnräder, Pleuelstangen, Bremscheiben <b>niedrig legierter Stahlguss</b> in vergütetem Zustand; Einsatz bis +300 °C für dynamisch hoch beanspruchte Bauteile; Produktions- und Konstruktions-schweißung möglich; Zahnkränze, Wälzränder, Turbinenteile, Gelenkteile, Ventil- und Schiebergehäuse, Offshore-Elemente
GS 200 +N	1.0449	25	380	200	190			
GE 240 +N	1.0456	22	450	240	225	210	(8)	
GS 240 +N	1.0455	22	450	240	225			
GE 300 +N	1.0558	18	520	300	260	200	(9)	
G17Mn5 +QT	1.1131	24	450	240	225			
G20Mn5 +QT	1.1120	22	500	300	250			
G28Mn6 +QT1	1.1165	14	600	450	300			
G10MnMoV6.3 +QT2	1.5410	18	500	380	250			
G26CrMo4 +QT2	1.7221	10	700	550	350			
G42CrMo4 +QT2	1.7231	10	850	700	425			
G35CrNiMo6.6 +QT2	1.6579	10	900	800	450			
G32NiCrMo8.5.4 +QT2	1.6570	10	1050	950	525			
G30NiCrMo14 +QT2	1.6771	7	1100	1000	550			
GX3CrNi13.4 +QT	1.6982	15	700	500	350	200	(9)	
GX4CrNi16.4 +QT1	1.4421	15	780	540	390			
GX4CrNi13.4 +QT2	1.4421	10	1000	830	500			
GX4CrNiMo16.5-1 +QT	1.4405	15	760	540	380			
GX23CrMoV12-1 +QT	1.4931	15	740	540	370			
h) Korrosionsbeständiger Stahlguss nach DIN EN 10283  Kein technologischer Größeneinfluss innerhalb der Abmessungsbereiche der Norm								Weist durch einen Chromgehalt von mindestens 12 % eine besondere Beständigkeit gegenüber chemischer Beanspruchung auf; geliefert werden die martensitischen Sorten im vergüteten (+QT) und die austenitischen Sorten im abgeschreckten Zustand (+AT)
GX12Cr12	1.4011	15	620	450	310	200	(9)	<b>martensitischer Stahlguss</b> mit erhöhtem Korrosionswiderstand gegen Süßwasser ohne besondere Anforderungen an die Zähigkeit, nicht geeignet für das Konstruktions- und Instandsetzungsschweißen; Turbinen, Verdichter bestes Festigkeits-Zähigkeitsverhältnis, hoher Kavitations-/Erosionswiderstand, beste Schweißbarkeit und Zähigkeit; Wasserturbinen, hochfeste Gebläse- und Pumpenräder Korrosionsbeständig auch in chlorhaltigen Medien, verbesserte Kaltzähigkeit; Wellen, Laufräder, Pumpen <b>austenitischer Stahlguss</b> , gute Beständigkeit, Schweißbarkeit und Zähigkeit; korrosionsbeständige Gusstücke für die chemische Industrie; Flügel für Mischanlagen, Lüfterräder, Pumpenteile <b>voll austenitischer Stahlguss</b> , mit verbesserter Korrosionsbeständigkeit durch höheren Mo- und Ni-Gehalt; Gusstücke mit hoher Beständigkeit gegen Lochfraß- und Spaltkorrosion, sowie interkristalline Korrosion; chemische Verfahrenstechnik, Abwasserförderung, Umweltschutz <b>austenitisch-ferritischer Stahlguss</b> (Duplex-Stahlguss), hohe Streckgrenze bei guter Lochfraßbeständigkeit; auf Erosionsverschleiß und Kavitation beanspruchte Bauteile im Meerwasser- und REA-Bereich; Pumpen, Schiffpropeller
GX7CrNiMo12-1	1.4008	15	590	440	295			
GX4CrNi13.4 (+QT1)	1.4317	15	760	550	380			
(+QT2)		12	900	830	450			
GX4CrNiMo16.5-1	1.4405	15	760	540	380			
GX4CrNiMo16.5-2	1.4411	15	760	540	380			
CX2CrNi19-11	1.4309	30	440	185	220			
CX5CrNiNb19-11	1.4552	25	440	175	220			
GXCrNiMo19-11-2	1.4408	30	440	185	220			
GX5CrNiMoNb19-11-2	1.4581	25	440	185	220			
GX2NiCrMo28-20-20	1.4458	30	430	165	215			
GX2NiCrMoCu25-20-5	1.4584	30	450	185	225			
GX2NiCrMoN2.5-20-5	1.4416	30	450	185	225			
GX2NiCrMoCuN2.5-20-6	1.4588	30	480	210	240			
GX6CrNiN26-7	1.4347	20	590	420	295	200	(9)	
GX2CrNiMoN2.5-7-3	1.4417	22	650	480	325			
GX2CrNiMoCuN2.5-6-3-3	1.4517	22	650	480	325			

<sup>1)</sup> Siehe Fußnote 3) zu TB 1-1.

Bei Gusstücken gelten die angegebenen Vergleichswerte unter folgenden Voraussetzungen: Hohl-guss (Kernguss) mit einfachen Rippen und Aussparungen, Richtstückzahl etwa 50, Stückgewichte 5 bis 10 kg.

Festigkeitskennwerte in  $\text{N/mm}^2$  1)

Werkstoffbezeichnung		Zu- stand <sup>4)</sup>	Dicke Durchm. mm	A % min.	$R_m$ min.	$R_{p0,2}$ min.	E kN/mm <sup>2</sup>	relative Werkstoff- kosten <sup>2)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
Kurzzeichen	Nummer								
a) Kupferlegierungen <sup>3)</sup>									
CuBe2	CW101C	R420 R600 R1150	Rundstangen 2 ... 80 25 ... 80 2 ... 80	35 10 2	420 600 1150	140 480 1000	122		zeichnen sich durch hohe Korrosionsbeständigkeit, beste Gleiteigenschaften und hohe Verschleißfestigkeit, hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit und gute Bearbeitbarkeit aus, wirken bakterizid
CuNi2Si	CW111C	R450 R690 R800	4 2 ... 80 2 ... 30	10 10 10	450 690 800	390 570 780	143	8	1. Kupfer-Zink-Knetlegierungen nach DIN EN 12163 für höchste Ansprüche an Härte, Elastizität und Verschleiß, gut löthar; optimale Aushärtungszeit; Federn aller Art, Membranen, Spannbänder, unmagnetische Konstruktionsteile, Lagersteine, Schnecken- und Stirnräder, Uhrendrehteile, Spritzgießformen, fankensichere Werkzeuge gute Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit, hohe Verschleißbeständigkeit, gute Gleiteigenschaften, hohe Wechsel- und Zeitstandfestigkeit, aushärtbar; höchstbeanspruchte Buchsen, Druckscheiben und Gleitbahnen, Wälzlagerkäfige, Freileitungsmaterial, Befestigungsteile im Schiffbau, Drahtseile, hochfeste Schrauben
CuCr1Zr CuCr1	CW106C CW105C	R200 R400 R470	8 ... 80 50 ... 80 4 ... 25	30 12 7	200 400 470	60 310 380	120		hohe elektrische Leitfähigkeit, hohe Entfestigungstemperatur und Zeitstandfestigkeit, kaum schweiß- und löthar, hohe Temperaturbeständigkeit, aushärtbar; Stranggusskokillen, stromführende Federn und Kontakte, Elektroden für Widerstandsschweißen, Strangpressprofile
CuZn37	CW508L	R310 R370 R440	Rundstangen 2 ... 80 2 ... 40 2 ... 10	30 12 2	310 370 440	120 300 400	110		2. Kupfer-Zink-Mehrstoff-Knetlegierungen nach DIN EN 12163 sehr gut kalt formbar, gute Löt- und Schweiß-eignung, korrosionsbeständig gegen Süßwasser, polierbar; Tiefzieh-, Druck- und Prägeteile, Kontaktfedern, Schrauben, Blattfedern, Kühlerbänder
CuZn31Sn1	CW708R	R460 R530	5 ... 40 5 ... 14	22 12	460 530	250 330	109	8	gute Gleiteigenschaften auch bei hohen Belastungen, kaltformbar, bedingt löt- und schweißbar; Lagerbuchsen, Gleitelemente, Führungen, Gesenkschmiedeteile
CuZn38Mn1Al	CW716R	R490 R550	5 ... 40 5 ... 14	18 10	460 540	210 280	93	8	mittlere Festigkeit, gute Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse, gut kalt umformbar; Gleitlager, Gleitelemente, Strangpressprofile
CuZn40Mn2Fe1	CW723R	R460 R540	5 ... 40 5 ... 14	20 8	460 540	270 320	100		mittlere Festigkeit, witterungsbeständig, gut löthar, kalt und warm umformbar; Apparatebau, allgemeiner Maschinenbau, Bauwesen, Armaturen, Kälteapparate
CuSn6	CW452K	R340 R400 R470 R550	Rundstangen 2 ... 60 2 ... 40 2 ... 12 2 ... 6	45 26 15 8	340 400 470 550	230 250 350 500	118	14	3. Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nach DIN EN 12163 sehr gut kalt umformbar, gut schweiß- und löthar, beständig gegen Seewasser und Industrieatmosphäre; Federn aller Art, Schlauch- und Federrohre, Membranen, Gewebe- und Siebdrähte, Zahnräder, Buchsen, Teile für die chemische Industrie
CuSn8 CuSn8P	CW453K CW459K	R390 R450 R550 R620	2 ... 60 2 ... 40 2 ... 12 2 ... 6	45 26 15 -	390 450 550 620	260 280 430 550	115		wie CuSn6, erhöhte Abriebfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit; dünnwandige Gleitlagerbuchsen und Gleitleiten, Hülländermesser CuSn8P als Lagermetall für gehärtete Wellen bei hoher stoßartiger Belastung (z. B. Carobronze)
CuZn36Pb3	CW603N	R360 R340 R400 R480	Rundstangen 6 ... 40 40 ... 80 2 ... 25 2 ... 12	20 20 12 8	360 340 400 480	180 160 250 380	102		4. Kupfer-Zinn-Blei-Knetlegierungen nach DIN EN 12164 sehr gut spanbar und warm umformbar; Automattendrehteile, dünnwandige Strangpressprofile (Bauprofile)
CuZn37Mn3Al2 PbSi	CW713R	R540 R590 R620	6 ... 80 6 ... 50 15 ... 50	15 12 8	540 590 620	280 320 350	93	7	hohe Festigkeit, hoher Verschleißwiderstand, gut beständig gegen atmosphärische Korrosion, unempfindlich gegen Ölkorrosion; Konstruktionsteile im Maschinenbau, Gleitlager, Ventillführungen, Getriebeteile, Kolbenringe
CuZn39Pb2	CW612N	R380 R360 R410 R490	6 ... 40 40 ... 80 2 ... 40 6 ... 14	20 25 15 -	380 360 410 490	160 150 250 370	120		sehr gut spanbar, gut warm und begrenzt kalt umformbar, Bohr- und Fräsqualität; Teile für die Feinmechanik, den Maschinen- und Apparatebau

## PT 3.3 Nezeljezni materijali (nastavak 1)

Werkstoffbezeichnung		Zu- stand <sup>9</sup>	Dicke Durchm. mm	A % min.	R <sub>m</sub> min.	R <sub>p0,2</sub> min.	E kN/mm <sup>2</sup>	relative Werkstoff- kosten <sup>2)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
Kurzzeichen	Nummer								
CuAl10Fe3Mn2	CW306G	R590 R690	Rundungen 10...80 10...50	12	590	330	120	14	5. Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen nach DIN EN 12163 hohe Dauerwechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung, gute Korrosionsbeständigkeit, meerwasserbeständig, beständig gegen Verzundern, Erosion und Kavitation, warmfest; Konstruktionsteile für den chemischen Apparatebau, zanderbeständige Teile, Schrauben, Wellen, Zahnräder, Ventilsitze
				6	690	510			
				10	680	480			
CuAl10Ni5Fe4	CW307G	R680 R740	10...80 10...80	10 8	680 740	480 530		ähnlich CW306G; Kondensatorböden, Verschleißteile, Steuerteile für Hydraulik, Papierindustrie, Wellen, Schrauben, Gesenkschmiedestücke	
CuAl11Fe6Ni6	CW308G	R750 R830	10...80 10...80	10 -	750 830	450 680		ähnlich CW306G; höchstbelastete Konstruktionsteile: Lagerteile, Ventilsitze, Druckplatten, Verschleißteile	
CuNi10Fe1Mn	CW352H	R280 R350	Rundungen 10...80 2...20	30	280	90	134	18	6. Kupfer-Nickel-Knetlegierungen nach DIN EN 12163 ausgezeichneter Widerstand gegen Erosion, Kavitation und Korrosion, unempfindlich gegen Spannungsrisskorrosion, Lochfraßneigung unter Fremdadlagerungen, gut kalt umformbar und lötlbar; Rohrleitungen, Bremsleitungen, Platten und Böden für Wärmetauscher, Kondensatoren, Apparatebau, Süßwasserbereiter
				10	350	150			
				30	340	120			
CuNi30Mn1Fe	CW354H	R340 R420	10...80 2...20	30 14	340 420	120 180		ähnlich CW352H, jedoch noch höhere Beständigungen gegen Erosionskorrosion; Ölkühler, Entsalzungsanlagen, Schiffskondensatoren	
CuNi12Zn24	CW430J	R380 R450 R540	2...50 2...40 2...10	38	380	270	125	18	„Neusilber“, gut beständig gegen atmosphärische Einflüsse, organische Verbindungen, neutrale und alkalische Salzlösungen, sehr gut kalt umformbar, lö- und polierbar; Teile für Optik und Feinmechanik, Tiefzieh- und Prägeteile, Tafelgeräte, Kontaktfedern, Bauwesen
				11	450	300			
				5	540	450			
CuSn10-C	CC480K	GS GM GC GZ		18	250	130	94...98	13	7. Kupfer-Zinn-Gusslegierungen nach DIN EN 1982 (Guss-Zinnbronze) korrosions- und kavitationsbeständig, meerwasserbeständig; hochbeanspruchte und korrosionsbeständige Pumpengehäuse und Armaturen, schnelllaufende Schnecken- und Zahnräder mit Stoßbeanspruchung, Ventilsitze
				10	270	160			
				10	280	170			
				10	280	160			
CuSn11Pb2-C	CC482K	GS GZ GC		5	240	130	94...98	13	gute Verschleißfestigkeit; hochbeanspruchte Gleitelemente, unter Last bewegte Spindelmuttern, Schnecken- und Schraubennadkränze, Gleitlager mit hohen Lastspitzen
				5	280	150			
				5	280	150			
CuSn12-C	CC483K	GS GM GC GZ		7	260	140	94...98	13	Standardlegierung mit guten Gleit- und Verschleißseigenschaften bei guter Korrosionsbeständigkeit, beste Nollaufseigenschaften; Buchsen, Gleitelemente, Gleiteisen, Lagerschalen
				5	270	150			
				6	300	150			
				5	280	150			
CuSn12Ni2-C	CC484K	GS GZ GC		12	280	160	94...98	13	höhere 0,2 %-Dehngrenze und Dauerfestigkeit, abblättern von Metallteilchen an den Zahnflanken von Kegel- und Schneckenrädern wird vermieden (pitting); schnelllaufende Schnecken- und Schraubennadkränze, hochbeanspruchte Pumpen- und Armaturenteile, Spindelmuttern
				8	300	180			
				10	300	180			
CuZn33Pb2-C	CC750S	GS, GZ		12	180	70	98	11	8. Kupfer-Zinn-Gusslegierungen nach DIN EN 1982 kostengünstig, gute Spanbarkeit, schleiß- und polierbar, mittlere Leitfähigkeit, gute Beständigkeit gegen Brauchwasser; bevorzugt für Sandgussteile, Gas- und Wasserarmaturen, Gehäuse, Konstruktionsteile
				15	300	150			
CuZn37Pb2Ni1AlFe-C	CC753S	GM		15	300	150	100	11	bevorzugt für Serienteile im kostengünstigen Kollenguss; Wasser-, Sanitär- und Heizungsinstallation
CuZn33Pb2Si-C	CC751S	GP		5	400	280	105	11	Druckgusslegierung für entzinkungsbeständige Gussteile, beständig gegen chlorhaltige Wasser
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	CC764S	GS GM GZ		15	600	250	110	11	hohe Festigkeit und Härte; für statisch hoch beanspruchte Konstruktionsteile, Ventil- und Steuerteile, Kegel, Sitze
				10	600	260			
				14	620	260			
CuZn37Al1-C	CC766S	GM		25	450	170	100	mittlere Festigkeit; Konstruktions- und Leiswerkstoff in Maschinenbau und Feinwerktechnik, Kollengussteile für Maschinenbau und Elektrotechnik	

## PT 3.3 Neželezni materijali (nastavak 2)

Werkstoffbezeichnung		Zu- stand <sup>9</sup>	Dicke Durchm. mm	A % min.	R <sub>m</sub> min.	R <sub>p0,2</sub> min.	E kN/mm <sup>2</sup>	relative Werkstoff- kosten <sup>10</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele		
Kurzzeichen	Nummer										
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	GS		13	200	90	95	12	9. Kupfer-Zinn-Zink-(Blei-)Gusslegierungen (Rotguss) und Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen (Guss-Zinn-Bleibronze) nach DIN EN 1982  Stammlegierung, nicht für Gleitzwecke, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, gute Festigkeits-, Bearbeitungs- und Gießereigenschaften; hochwertige Ventile, Armaturen, Wasserpumpengehäuse, Zahnräder, druckdichte Gussstücke  Standardleitwerkstoff mit ausgezeichneten Notlaufereigenschaften, mittlere Festigkeit und Härte; Gleitlager für gehärtete und ungehärtete Wellen, Gleitplatten und -leisten, Druckwalzen, Schiffswellenbezüge  Konstruktionswerkstoff mit hoher Festigkeit und Dehnung, geringe Wanddickenempfindlichkeit und Gasdurchlässigkeit, druckdicht  sehr gute Gleiteigenschaften, gute Korrosionsbeständigkeit, gute Verschleißfestigkeit; Gleitlager für hohe Flächenpressung, hoch beanspruchte Fahrzeuglager und Kalandrwalzen, Lager für Warmwalzwerke  hervorragende Gleit- und Notlaufereigenschaften, gießtechnisch problematisch (Verbundguss), beständig gegen Schwefelsäure, für Lager mit hoher Pressung und geringer Gleitgeschwindigkeit; Pleuellager in Verbrennungsmotoren, Lager für Wasserpumpen, Kalwalzwerke und Landmaschinen, korrosionsbeständige Armaturen und Gehäuse		
		GM		6	220	110					
		GZ		13	250	110					
		GC		13	250	110					
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	GS		15	230	120				10. Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen (Guss-Aluminiumbronze) nach DIN EN 1982  meerwasserbeständig und korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure; Schiffbau, Apparatebau, Ventilsitze, Armaturen, Heizanlagen  meerwasser- und korrosionsbeständig, verschleißfest, geringe Temperaturabhängigkeit der Festigkeitswerte, statisch und schwingend hoch beanspruchbar, nicht für chlorhaltige Medien; Schraubennellen, Zahnkränze, Schneckenräder, Heißdampfarmaturen, Steuerteile  sehr gute Wechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung (Meerwasser), hoher Widerstand gegen Kavitation und Erosion, Langeitbeanspruchung bis 250 °C, mit S235 verschweißbar; Schiffspropeller, Stenrohre, Laufräder, Pumpengehäuse  lassen sich oft technisch und wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen, da durch Variieren der Legierungszusätze (Cu, Si, Mg, Zn, Mn) fast jede gewünschte Kombination von mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften („leicht, fest, beständig“) erreichbar ist	
		GM		12	230	120					
		GC, GZ		12	260	120					
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	GS		14	230	130					10. Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen (Guss-Aluminiumbronze) nach DIN EN 1982  meerwasserbeständig und korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure; Schiffbau, Apparatebau, Ventilsitze, Armaturen, Heizanlagen  meerwasser- und korrosionsbeständig, verschleißfest, geringe Temperaturabhängigkeit der Festigkeitswerte, statisch und schwingend hoch beanspruchbar, nicht für chlorhaltige Medien; Schraubennellen, Zahnkränze, Schneckenräder, Heißdampfarmaturen, Steuerteile  sehr gute Wechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung (Meerwasser), hoher Widerstand gegen Kavitation und Erosion, Langeitbeanspruchung bis 250 °C, mit S235 verschweißbar; Schiffspropeller, Stenrohre, Laufräder, Pumpengehäuse  lassen sich oft technisch und wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen, da durch Variieren der Legierungszusätze (Cu, Si, Mg, Zn, Mn) fast jede gewünschte Kombination von mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften („leicht, fest, beständig“) erreichbar ist
		GM		12	230	130					
		GZ		12	260	130					
		GC		12	270	130					
CuSn10Pb10-C	CC495K	GS		8	180	80	95	12	10. Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen (Guss-Aluminiumbronze) nach DIN EN 1982  meerwasserbeständig und korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure; Schiffbau, Apparatebau, Ventilsitze, Armaturen, Heizanlagen  meerwasser- und korrosionsbeständig, verschleißfest, geringe Temperaturabhängigkeit der Festigkeitswerte, statisch und schwingend hoch beanspruchbar, nicht für chlorhaltige Medien; Schraubennellen, Zahnkränze, Schneckenräder, Heißdampfarmaturen, Steuerteile  sehr gute Wechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung (Meerwasser), hoher Widerstand gegen Kavitation und Erosion, Langeitbeanspruchung bis 250 °C, mit S235 verschweißbar; Schiffspropeller, Stenrohre, Laufräder, Pumpengehäuse  lassen sich oft technisch und wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen, da durch Variieren der Legierungszusätze (Cu, Si, Mg, Zn, Mn) fast jede gewünschte Kombination von mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften („leicht, fest, beständig“) erreichbar ist		
		GM		3	220	110					
		GZ		6	220	110					
		GC		8	220	110					
CuSn5Pb20-C	CC497K	GS		5	150	70				10. Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen (Guss-Aluminiumbronze) nach DIN EN 1982  meerwasserbeständig und korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure; Schiffbau, Apparatebau, Ventilsitze, Armaturen, Heizanlagen  meerwasser- und korrosionsbeständig, verschleißfest, geringe Temperaturabhängigkeit der Festigkeitswerte, statisch und schwingend hoch beanspruchbar, nicht für chlorhaltige Medien; Schraubennellen, Zahnkränze, Schneckenräder, Heißdampfarmaturen, Steuerteile  sehr gute Wechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung (Meerwasser), hoher Widerstand gegen Kavitation und Erosion, Langeitbeanspruchung bis 250 °C, mit S235 verschweißbar; Schiffspropeller, Stenrohre, Laufräder, Pumpengehäuse  lassen sich oft technisch und wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen, da durch Variieren der Legierungszusätze (Cu, Si, Mg, Zn, Mn) fast jede gewünschte Kombination von mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften („leicht, fest, beständig“) erreichbar ist	
		GC		7	180	90					
		GZ		6	170	80					
CuAl9-C	CC330G	GM		20	500	180					10. Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen (Guss-Aluminiumbronze) nach DIN EN 1982  meerwasserbeständig und korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure; Schiffbau, Apparatebau, Ventilsitze, Armaturen, Heizanlagen  meerwasser- und korrosionsbeständig, verschleißfest, geringe Temperaturabhängigkeit der Festigkeitswerte, statisch und schwingend hoch beanspruchbar, nicht für chlorhaltige Medien; Schraubennellen, Zahnkränze, Schneckenräder, Heißdampfarmaturen, Steuerteile  sehr gute Wechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung (Meerwasser), hoher Widerstand gegen Kavitation und Erosion, Langeitbeanspruchung bis 250 °C, mit S235 verschweißbar; Schiffspropeller, Stenrohre, Laufräder, Pumpengehäuse  lassen sich oft technisch und wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen, da durch Variieren der Legierungszusätze (Cu, Si, Mg, Zn, Mn) fast jede gewünschte Kombination von mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften („leicht, fest, beständig“) erreichbar ist
		GZ		15	450	160					
CuAl10Fe2-C	CC331G	GS		18	500	180	120	14			
		GM		20	600	250					
		GZ		18	550	200					
		GC		15	550	200					
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	GS		13	600	250			10. Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen (Guss-Aluminiumbronze) nach DIN EN 1982  meerwasserbeständig und korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure; Schiffbau, Apparatebau, Ventilsitze, Armaturen, Heizanlagen  meerwasser- und korrosionsbeständig, verschleißfest, geringe Temperaturabhängigkeit der Festigkeitswerte, statisch und schwingend hoch beanspruchbar, nicht für chlorhaltige Medien; Schraubennellen, Zahnkränze, Schneckenräder, Heißdampfarmaturen, Steuerteile  sehr gute Wechselfestigkeit auch bei Korrosionsbeanspruchung (Meerwasser), hoher Widerstand gegen Kavitation und Erosion, Langeitbeanspruchung bis 250 °C, mit S235 verschweißbar; Schiffspropeller, Stenrohre, Laufräder, Pumpengehäuse  lassen sich oft technisch und wirtschaftlich vorteilhaft einsetzen, da durch Variieren der Legierungszusätze (Cu, Si, Mg, Zn, Mn) fast jede gewünschte Kombination von mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften („leicht, fest, beständig“) erreichbar ist		
		GM		7	650	280					
		GZ		13	650	280					
		GC		13	650	280					
b) Aluminiumlegierungen K <sub>1</sub> = 1 für Al-Knetleg. und für Al-Gussleg. nur bei d ≤ 12 mm K <sub>1</sub> = 1,1 · (d/7,5 mm) <sup>-0,2</sup> für Al-Gussleg. bei 12 mm < d < 150 mm K <sub>1</sub> = 0,6 für Al-Gussleg. bei d ≥ 150 mm Normabmessung des Probeabst.: d <sub>N</sub> = 12 mm											
ENAW-(Al99,5)	ENAW-1050 A	O/H11 H14 H18	Flache	≤50	>20	65	20	2,1		1. Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen, nicht ausgehärtet (DIN EN 485-2, 754-2, 755-2)  gute Korrosionsbeständigkeit, gut kalt und warm umformbar, gut schweiß- und löthar, schlecht spanbar, Oberflächenschutz durch Anodisieren; Apparate, Behälter, Rohrleitungen für Lebensmittel und Getränke, Tiefzieh-, Druck- und Blechformteile, Stromschienen, Freileitungen, Verpackungen  höhere Festigkeit als Rein-Al, gute Beständigkeit gegen Alkalien, gut lötl-, schweiß- und kaltumformbar, gute Warmfestigkeit; Dacheckungen, Wärmeaustauscher, Kochgeschirre, Grillplatten, Verschleiß-, Dosenunterteile, Fahrzeugaufbauten  erhöhte Korrosionsbeständigkeit gegen Seewasser, schlecht lötl- und schweißbar, gut kalt umformbar; Automatenreile, vorwiegend anodisiert und eingefärbt oder hartanodisiert, Schrauben, Stifte, Schraubnägeln, Drahtwaren  Eigenschaften der Reihe 5000, aber schwer warm umformbar und schlecht löthar; Tragwerkstrukturen, Nutzfahraufbauten, Wagenkästen, Druckbehälter, Apparate und Behälter für Getränke und Lebensmittel, Schrauben, Nieten	
				≤25	2... 6	105	85				
				≤3	2	140	120				
ENAW-AlMnCu	ENAW-3003	O/H11 H14 H18	Flache	≤50	>15	95	35	2,1			1. Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen, nicht ausgehärtet (DIN EN 485-2, 754-2, 755-2)  gute Korrosionsbeständigkeit, gut kalt und warm umformbar, gut schweiß- und löthar, schlecht spanbar, Oberflächenschutz durch Anodisieren; Apparate, Behälter, Rohrleitungen für Lebensmittel und Getränke, Tiefzieh-, Druck- und Blechformteile, Stromschienen, Freileitungen, Verpackungen  höhere Festigkeit als Rein-Al, gute Beständigkeit gegen Alkalien, gut lötl-, schweiß- und kaltumformbar, gute Warmfestigkeit; Dacheckungen, Wärmeaustauscher, Kochgeschirre, Grillplatten, Verschleiß-, Dosenunterteile, Fahrzeugaufbauten  erhöhte Korrosionsbeständigkeit gegen Seewasser, schlecht lötl- und schweißbar, gut kalt umformbar; Automatenreile, vorwiegend anodisiert und eingefärbt oder hartanodisiert, Schrauben, Stifte, Schraubnägeln, Drahtwaren  Eigenschaften der Reihe 5000, aber schwer warm umformbar und schlecht löthar; Tragwerkstrukturen, Nutzfahraufbauten, Wagenkästen, Druckbehälter, Apparate und Behälter für Getränke und Lebensmittel, Schrauben, Nieten
				≤25	2... 5	145	125				
				≤3	2	190	170				
ENAW-AlMg5	ENAW-5019	F, H112 O, H11 H12, H22 H14, H24	Rundstangen	≤200	14	250	110	2,5	1. Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen, nicht ausgehärtet (DIN EN 485-2, 754-2, 755-2)  gute Korrosionsbeständigkeit, gut kalt und warm umformbar, gut schweiß- und löthar, schlecht spanbar, Oberflächenschutz durch Anodisieren; Apparate, Behälter, Rohrleitungen für Lebensmittel und Getränke, Tiefzieh-, Druck- und Blechformteile, Stromschienen, Freileitungen, Verpackungen  höhere Festigkeit als Rein-Al, gute Beständigkeit gegen Alkalien, gut lötl-, schweiß- und kaltumformbar, gute Warmfestigkeit; Dacheckungen, Wärmeaustauscher, Kochgeschirre, Grillplatten, Verschleiß-, Dosenunterteile, Fahrzeugaufbauten  erhöhte Korrosionsbeständigkeit gegen Seewasser, schlecht lötl- und schweißbar, gut kalt umformbar; Automatenreile, vorwiegend anodisiert und eingefärbt oder hartanodisiert, Schrauben, Stifte, Schraubnägeln, Drahtwaren  Eigenschaften der Reihe 5000, aber schwer warm umformbar und schlecht löthar; Tragwerkstrukturen, Nutzfahraufbauten, Wagenkästen, Druckbehälter, Apparate und Behälter für Getränke und Lebensmittel, Schrauben, Nieten		
				≤80	16	250	110				
				≤40	8	270	180				
				≤25	4	300	210				
ENAW-AlMg2Mn0,8	ENAW-5049	O, H11 H14 H18	Flache	≤100	12... 18	190	80	2,3		1. Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen, nicht ausgehärtet (DIN EN 485-2, 754-2, 755-2)  gute Korrosionsbeständigkeit, gut kalt und warm umformbar, gut schweiß- und löthar, schlecht spanbar, Oberflächenschutz durch Anodisieren; Apparate, Behälter, Rohrleitungen für Lebensmittel und Getränke, Tiefzieh-, Druck- und Blechformteile, Stromschienen, Freileitungen, Verpackungen  höhere Festigkeit als Rein-Al, gute Beständigkeit gegen Alkalien, gut lötl-, schweiß- und kaltumformbar, gute Warmfestigkeit; Dacheckungen, Wärmeaustauscher, Kochgeschirre, Grillplatten, Verschleiß-, Dosenunterteile, Fahrzeugaufbauten  erhöhte Korrosionsbeständigkeit gegen Seewasser, schlecht lötl- und schweißbar, gut kalt umformbar; Automatenreile, vorwiegend anodisiert und eingefärbt oder hartanodisiert, Schrauben, Stifte, Schraubnägeln, Drahtwaren  Eigenschaften der Reihe 5000, aber schwer warm umformbar und schlecht löthar; Tragwerkstrukturen, Nutzfahraufbauten, Wagenkästen, Druckbehälter, Apparate und Behälter für Getränke und Lebensmittel, Schrauben, Nieten	
				≤25	3... 5	240	190				
				≤3	2	290	250				

PT 3.3 Neželezni materijali (nastavak 3)



Werkstoffbezeichnung		Zu- stand <sup>4)</sup>	Dicke Durchm. mm	A % min.	R <sub>m</sub> min.	R <sub>p0,2</sub> min.	E kN/mm <sup>2</sup>	relative Werkstoff- kosten <sup>2)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
Kurzzeichen	Nummer								
ENAW-AlMg <sub>4,5</sub> Mn <sub>0,7</sub>	ENAW-5083	O, HI 11	≤50	≥11	275	125	70	2,1	Eigenschaften der Reihe 5000, aber zusätzlich hohe chemische Beständigkeit und Tieftemperatureigenschaften (bis 4 K), Betriebstemperaturen zwischen 80 und 200 °C bei gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung vermeiden; Druckbehälter, Tragwerke (auch ohne Oberflächenschutz), selbsttragende Sattel- und Tankfahrzeuge, Schweißkonstruktionen, Panzerplatten, Maschinengestelle, Luftzerlegungs- und Gasverflüssigungsanlagen, Methananker
		HI 4	≤25	2...4	340	280			
		HI 6	≤4	2	360	300			
ENAW-AlMg <sub>4</sub>	ENAW-5086	O, HI 11	≤150	≥11	240	100		3	Eigenschaften der Reihe 5000, nicht für Langzeittemperaturen über 65 °C geeignet, anfällig gegen interkristalline Korrosion und Spannungsrisskorrosion nach unsachgemäßer Wärmebehandlung; Schweißkonstruktionen, Maschinenbau, Schiffindustrie, Apparate, Behälter, Rohrleitungen für Lebensmittel und Getränke
		HI 4	≤25	2...4	300	240			
		HI 8	≤3	1	345	290			
ENAW-AlMg <sub>5</sub>	ENAW-5754	O, HI 11	≤100	≥12	190	80		3	Eigenschaften und Verwendung ähnlich AlMg <sub>2</sub> Mn <sub>0,8</sub>
		HI 4	≤25	3...5	240	190			
		HI 8	≤3	2	290	250			
ENAW-AlCu <sub>4</sub> Pb MgMn	ENAW-2007	T3 T3 T351	Randstangen	7	370	240		2,5	2. Aluminium-Knetlegierungen, aushärtbar (DIN EN 4852, 754-2 und 755-2) Automatenlegierung, nur im Zustand kalt ausgehärtet in Form von Stangen und Rohren lieferbar, nicht schweißgeeignet, geringe chemische Beständigkeit und Leitfähigkeit; Dreh- und Frästeile
			≤30	6	340	220			
			30...80	5	370	240			
ENAW-AlCu <sub>4</sub> SiMg	ENAW-2014	O, HI 11 T3 T4 T6	Randstangen	10	<240	<125		2,5	in warm ausgehärtetem Zustand ausreichende Korrosionsbeständigkeit, bedingt kalt umformbar und spanbar, keine Eignung zum Schweißen und zur anodischen Oxidation; Gesenke- und Freiformschmiedeteile für hohe Beanspruchung, Teile in Hydraulik und Pneumatik, Pleuel, Schrauben, Zahnräder, Konstruktionen im Maschinen-, Hoch- und Flugzeugbau
			≤80	8	380	290			
			≤80	12	380	220			
			≤80	8	450	380			
ENAW-AlMgSi	ENAW-6060	T4 T5 T6	Profile	16	120	60	70	3	die Sorten der Reihe 6000 sind kalt und warm aushärtbar, schweißbar, korrosionsbeständig, nicht dekorativ anodisierbar, die Sorte 6060 ist darüber hinaus besonders gut stragpressbar, auch ist ein Aushärten nach dem Schweißen möglich; Profile für Tragkonstruktionen, Fenster, Tür-, Abdeck- und Abschlussprofile, Rolladenstäbe, Heizkörper, Maschinenteile, Elektromotorengehäuse, Pneumatikzylinder, Aufbauten, Container, Einrichtungen von Schiffen und Schienenfahrzeugen
			≤25	8	160	120			
			≤5	8	140	100			
			>5 ≤25	8	215	160			
			≤3	8	195	150			
ENAW-AlSi1MgMn	ENAW-6082	O, HI 11 T4 T5 T6	Profile	14	<160	<110		3,2	wie Sorte 6060, weist die höchste Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit auf, lässt sich aber schwer pressen; Profile und Schmiedestücke für Tragwerke, den Fahrzeug- und Maschinenbau, Blechformteile, Bierfässer, Schrauben, Niete
			alle	14	205	110			
			≤25	8	270	230			
			≤5	8	290	250			
			>5 ≤25	10	310	260			
ENAW-AlZn <sub>4,5</sub> MgI	ENAW-7020	T6	Profile	10	350	290		3,2	Konstruktionslegierungen der Reihe 7000 mit höchster Festigkeit bei geringer Beständigkeit, gute Kaltumformbarkeit in weichem Zustand (O), härtet nach dem Schmelzschweißen selbsttätig aus, ist aber kerbempfindlich und alterungsanfällig; Profile, Rohre und Bleche für geschweißte Tragwerke im Hoch-, Fahrzeug- und Maschinenbau
			≤40						
ENAC-AlCu <sub>4</sub> MgTi	ENAC-21000	S T4 K T4 L T4		5	300	200	72		3. Aluminium-Gusslegierungen nach DIN EN 1706 einfachere Gussstücke mit höchster Festigkeit (warm ausgehärtet) oder höchster Zähigkeit (kalt ausgehärtet), gut spanbar, bedingt schweißbar; als Feinguss (L) auch für verwickelte dünnwandige Gussstücke für den Maschinen- und Fahrzeugbau
				8	320	200			
				5	300	220			
ENAC-AlSi7Mg <sub>0,3</sub>	ENAC-42100	S T6 K T6 L T6		2	230	190	73		für Gussstücke mittlerer bis größerer Wanddicke, hohe Festigkeit und Zähigkeit, korrosionsbeständig, als Feinguss überwiegend für dünnwandige Gussstücke für den Fahrzeug- und Flugzeugbau; aushärtbar; Hinterachslenker, Bremsmittel, Radträger
				4	290	210			
				3	260	200			

## PT 3.3 Neželezni materijali (nastavak 4)

Werkstoffbezeichnung		Zu- stand <sup>4)</sup>	Dicke Durchm. mm	A % min.	R <sub>m</sub> min.	R <sub>p0,2</sub> min.	E kN/mm <sup>2</sup>	r relative Werkstoff- kosten <sup>2)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
Kurzzeichen	Nummer								
ENAC-ALSi9Mg	ENAC-43300	S T6 K T6		2 4	230 290	190 210	75	3,5	für verwickelte, dünnwandige Gussstücke mit hoher Festigkeit, guter Zähigkeit und sehr guter Witterungsbeständigkeit, aushärtbar, gut schweiß- und löthar, gut spanbar; Motorblöcke, Getriebe- und Wandlergehäuse
ENAC-ALSi8Cu3	ENAC-46200	S F K F D F		1 1 1	150 170 240	90 100 140	75		für verwickelte, dünnwandige Sand- und Kokillengussstücke, nicht aushärtbar, sehr gutes Formfüllungsvermögen, geringe Neigung zu Innenlunker und Einfallstellen, gute Warmfestigkeit bis 200 °C, geringe Zähigkeit und Beständigkeit, Fertigungsschweißung möglich (WIG); Gehäuse für Maschinen-, Geräte- und Fahrzeugbau
ENAC-ALMg5	ENAC-51300	S F K F L F		3 4 3	160 180 170	90 100 95	69		für korrosionsbeständige Gussstücke, auch für Beanspruchung durch schwach alkalische Medien und für Gussstücke mit dekorativer Oberfläche, nicht aushärtbar, sehr gut spanbar, anodisch oxidierbar; Beschlagteile, Haushaltsgeräte, Armaturen, Maschinen für Lebensmittel- und Getränkeindustrie, Schiffbau
c) Magnesiumlegierungen									geringste Dichte aller metallischen Werkstoffe bei mittlerer Festigkeit, hervorragend spanbar, kerbempfindlich, durch niedrigen E-Modul schlagfest und geräuschkämpfend, besondere Schutzmaßnahmen gegen Selbstentzündung (beim Schmelzen, Gießen, Zerspanen) und Korrosion erforderlich, Superleichtbau durch mit Fasern und Partikeln (z. B. SiC) verstärkten Verbundstoff (MMC)
MgMn2	3.5200.08	F20 F22	>2 <2	1,5 2	200 220	145 165			1. Magnesium-Knetlegierungen nach DIN 1729 und DIN 9715 Korrosionsbeständig, leicht umformbar, gut schweißbar (WIG); Blechprofile, Verkleidungen, Pressteile, Kraftstoffbehälter
MgAl3Zn	3.531 2.08	F20 F24 F27	= ≤10 =	1,5 10 8	200 240 270	145 155 155	43 ... 45		mittlere Festigkeit, umformbar, gute chemische Beständigkeit, schweißbar; Bauteile mittlerer mechanischer Beanspruchung
MgAl6Zn	3.561 2.08	F27	≤10	10	270	175			hohe Festigkeit, schwingungsfest, bedingt schweißbar; Karosserieteile, Leichtbauteile
MgAl8Zn	3.581 2.08	F27 F29 F31	= ≤10 ≤10	8 10 6	270 290 310	195 205 215			Höchste Festigkeit, schwingungsfest, nicht schweißbar; schwingungs- und stoßbeanspruchte Bauteile
EN-MCMgAl8Zn1	EN-MC 21110	S, K F S, K T4 D F		2 8 1..7	160 240 200 ... 250	90 90 140 ... 170		3	2. Magnesium-Gusslegierungen nach DIN EN 1753 gut gießbar, schweißbar, gute Gleiteigenschaften, dynamisch beanspruchbar; schwingungs- und stoßbeanspruchte Teile, Getriebe- und Motorengehäuse, Ölwanne
EN-MCMgAl9Zn1	EN-MC 21120	S, K F S, K T4 S, K T6 D F		2 6 2 1..6	160 240 240 200 ... 260	90/110 110/120 150 140 ... 170	41 ... 45	3,5	gut gießbar, schweißbar, hohe Festigkeit, dynamisch belastbar; schwingungs- und stoßbeanspruchte Teile, Fahrzeug- und Flugzeugbau, Armaturen

<sup>1)</sup> Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Werkstoffe werden stark beeinflusst von Schwankungen in der Legierungszusammensetzung und vom Gefügestand. Die angegebenen Festigkeitskennwerte sind nur für bestimmte Abmessungsbereiche gewährleistet.

<sup>2)</sup> Siehe auch Fußnote 3) zu TB 1-1.

Die angegebenen relativen Werkstoffkosten gelten bei Sandguss im Gewichtsbereich von 1 bis 5 kg, mittlerem Schwierigkeitsgrad und mindestens 10 Abgüssen; Kokillen- und Druckguss im Gewichtsbereich 0,25 bis 0,5 kg, mittlerem Schwierigkeitsgrad und mindestens 5000 Stück.

<sup>3)</sup> Weitere Werkstoffdaten über Kupferlegierungen siehe unter Gleitlager, TB 15-6.

<sup>4)</sup> Zustandsbezeichnungen und Gießverfahren:

Festigkeit bei Cu-Leg.: z. B. R600 → Mindestzugfestigkeit  $R_m = 600 \text{ N/mm}^2$ ;

Gießverfahren bei Cu-Leg.: GS Sandguss GM Kokillenguss GZ Schleuderguss GC Strangguss GP Druckguss;

Aluminium-Knetlegierungen, nicht aushärtbar: O = weichgeglüht; F = Gusszustand; H111 = geglüht mit nachfolgender geringer Kaltverfestigung; H12 = kalt verfestigt, 1/4-hart; H14 = kalt verfestigt, 1/2-hart; H16 = kalt verfestigt, 3/4-hart; H18 = kalt verfestigt, 4/4-hart; H22 = kalt verfestigt und rückgeglüht, 1/4-hart; H24 = kalt verfestigt und rückgeglüht, 1/2-hart;

Aluminium-Knetlegierungen, aushärtbar: T3 = lösungsgeglüht, kalt umgeformt und kalt ausgelagert; T351 = lösungsgeglüht, durch kontrolliertes Recken entspannt und kalt ausgelagert; T4 = lösungsgeglüht und kalt ausgelagert; T5 = abgeschreckt und warm ausgelagert; T6 = lösungsgeglüht und vollständig warm ausgelagert;

Aluminium- und Magnesium-Gusslegierungen: S Sandguss K Kokillenguss D Druckguss L Feinguss;

Festigkeit bei Mg-Knetlegierung: z. B. F22 →  $R_m = 10 \cdot 22 = 220 \text{ Nmm}^2$ .

## Auswahl für den allgemeinen Maschinenbau

Festigkeitskennwerte bei Raumtemperatur in N/mm<sup>2</sup>

Allgemeine Kenndaten: Relativ niedrige Festigkeit, geringe Steifigkeit durch niedrigen Elastizitätsmodul, mechanische Eigenschaften stark zeit- und temperaturabhängig, geringe Wärmeleitfähigkeit, gute elektrische Isoliereigenschaften, gute Beständigkeit, große Typenvielfalt

Werkstoff Kurzzeichen Handelsnamen	Dichte $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Dehnung <sup>1)</sup> $\epsilon_M$ ( $\epsilon_{0.2}$ ) % min.	Festigkeit <sup>2)</sup> $\sigma_M$ ( $\sigma_{0.2}$ ) min.	Zeitdehnspannung $\sigma_{t/1000}$ min.	Elastizitätsmodul $E$ mittel	Gebrauchstemperatur dauernd °C		relative Werkstoffkosten <sup>3)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
						max.	min.		
a) Thermoplaste									
Polyethylen PE-HD PE-LD Hostalen, Vestolen, Baylon	0,96 0,92	12 (400) 8 (600)	20 (16) 8	2 1	1 000 300	80 60	- 50 - 50	0,6 (0,3) (0,25)	lassen sich ohne chemische Veränderung reversibel zu einem plastischen Zustand erwärmen und dann leicht verformen; sie sind schmelzbar, schweißbar, quellbar und löslich; je nach Molekülanordnung sind sie spröde und glasklar (amorph) oder trübe, zäh und fest (teilkristallin)
Polypropylen PP (isotaktisch) Novolen, Ultralen, Vestolen P	0,9	10 (800)	35 (20)	6	1 200	100	0	0,6 (0,35)	günstigere mechanische und thermische Eigenschaften gegenüber PE, geringe Zähigkeit in der Kälte, neigt kaum zur Bildung von Spannungsrissen; Formteile mit Filmscharnieren, Innenausstattung von Pkw's, Gehäuse von Haushaltsmaschinen, Scheinwerfer- und Pumpengehäuse
Polystyrol PS Vestron, Styron, Polystyrol	1,05	3	45 (20)	18	3 300	60	- 10	0,6 (0,35)	amorphes Gefüge, glasklar; steif, hart und spröde; brillante Oberfläche, hohe Maßbeständigkeit, sehr gute elektrische Eigenschaften, Neigung zur Spannungsrissbildung, geringe Beständigkeit gegenüber organischen Produkten; Einwegverpackungen, Schaugläser, Zeichengeräte, Geschirr, Formteile für Fernsehgeräte
Acrylnitril-Polybutadien-Styrol-Propolymer ABS Novodur, Terluran, Cycolac	1,05	2 (20)	32 (15)	9	2 300	75	- 40		schlagzäh, kratzfest, hohe Formbeständigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit, hohe Chemikalienbeständigkeit, nicht witterungsbeständig, galvanisierbar; Gehäuse, Möbelteile und Behälter aller Art, Ausstattungsteile für Kfz und Flugzeuge, Sicherheitshelme, Sanitärinstallationsteile
Polyvinylchlorid hart PVC-U Hostalit, Mipolam, Trovidur	1,38	4 (10)	50	20	3 000	65	- 5		amorphes Gefüge, durchscheinend bis transparent, steif, hart, schlagempfindlich in der Kälte, gute chemische Widerstandsfähigkeit, hohe dielektrische Verluste, schwer entflammbar; Behälter in Chemie und Galvanik, säurefeste Gehäuse- und Apparateile, Rohre, Tonbandträger, Fensterrahmen
Polytetrafluorethylen PTFE Hostaflon TF, Teflon, Fluon	2,15	10 (350)	12 (30)	1	410	250	-200	15,5	flexibel, starkes Kriechen, geringes Adhäsionsvermögen, niedrigste Reibungszahl aller festen Stoffe, nahezu universelle Chemikalienbeständigkeit, sehr gute elektrische Isoliereigenschaften, hohe Thermostabilität, teuer; Anhaftbeschichtungen, Transportbänder (kein Kleben), Gleitlager, Schläuche, Dichtungen, plattenförmige Auflager, Kolbenringe
Polycyanoethylmethyl- POM Delrin, Hostaform, Ultraform	1,41	8 (25)	65 (27)	12	2 800	90	- 60		zähhart, steif, gute Federungseigenschaften, günstiges Gleit- und Verschleißverhalten, beständig gegen Lösungsmittel und Chemikalien, keine Wasseraufnahme; bevorzugter Konstruktionswerkstoff: Gleitlager, Gehäuse, Beschläge, Schnapp- und Federelemente, Zahnräder
Polyamid PA66 Durethan A, Ultramid A, Minlon obere Werte: trocken untere Werte: konditioniert (feucht)	1,13 1,14	5 (20) 15 (150)	80 55 (30)	7 6	2 800 1 600	100 100	- 30 - 30	2,2 (1,2)	PA-Typ mit der größten Härte, Steifheit, Abriebfestigkeit und Formbeständigkeit in der Wärme; mechanische Eigenschaften, Formteilabmessungen und elektrische Isoliereigenschaften hängen stark vom Feuchtegehalt ab, meist Anreichern mit Wasser erforderlich (Konditionieren), gute Gleit- und Notlaufseigenschaften, beständig gegen Kraftstoffe und Öle; Gleitelemente, Zahnräder, Laufrollen, Gehäuse, Seile, Lagerbuchsen, Dübel

## PT 3.4 Polimeri (nastavak 1)

Werkstoff Kurzzeichen Handelsnamen	Dichte $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Dehnung <sup>1)</sup> $\epsilon_M$ ( $\epsilon_B$ ) % min.	Festigkeit <sup>2)</sup> $\sigma_M$ ( $\sigma_{Bz}$ ) min.	Zeitdehn- spannung $\sigma_t/100$ min.	Elastizitäts- modul $E$ mittel	Gebrauchs- temperatur dauernd °C		relative Werkstoff- kosten <sup>3)</sup>	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
						max.	min.		
<b>b) Duroplaste</b>									
engmaschig räumlich vernetzte Polymer-Werkstoffe, die nach der Formgebung (Härtung) nur noch spanend bearbeitet werden können; nicht schmelzbar, nicht schweißbar, unlöslich und nur schwach quellbar, werden meist mit Verstärkungstoffen verarbeitet									
Phenolharz-Hart- gewebe DIN 7735 Hgw 2081 (Füllstoff: Baum- wollgewebe) Resofil, Resitex, Novotex	1,3	–	50 (25)		7000	110			hohe Zähigkeit, Festigkeit, Steifheit und Härte, un- ständig gegen starke Säuren und Laugen; mechanisch hoch beanspruchbare Schichtpressstoffe für Zahnräder (geräuscharm), Lagerbuchsen, Gleitbahnen, Lauffrollen, Ziehwerkzeuge
Polyesterharz UP DIN 16946 Typ 1110 Vestopal, Palatal	1,2	(0,6)	40		3500	100			hart, spröde, transparent; meist als Gießharz für die Herstellung verstärkter Formteile, Vergussmassen, Überzüge, Beschichtungen
GFK-Laminat UP-Harz – Glasfaser- gewebe 55% – Glas-Roving- gewebe 65% Alpolit, Leguval, Sonoglas	1,65 1,8	– (2)	250 (50) 650	50	16000 35000	100		6	sehr hohe Festigkeit, gute chemische Beständigkeit, auch für Außenanwendungen, günstige elektrische Iso- liereneigenschaften, durchscheinend, laden sich elektrosta- tisch auf; Laminat für großflächige Konstruktionsteile wie Maschinegehäuse, Karosserieteile, Behälter, Lüfter, Rohrleitungen, Lichtdächer
PUR-Integral- Hartschaumstoff RIM-Verfahren Baypreg, Elastopor, Elastolit	0,40 0,60	(7) (7)	8 18 (8)	3	350 600	100			gute mechanische Steifigkeit bei geringem Gewicht; Ge- häuse für Kopier- und Rechengeräte, Möbel, Ladenein- richtungen, Karosserieteile, Schuhsohlen
<b>c) Elastomere</b>									
lassen sich reversibel mindestens auf das Doppelte bis Mehrfache ihrer Ausgangslänge dehnen, kleiner Elasti- zitätsmodul, flexibel									
Thermoplastische Polyurethan- Elastomere TPU Typ 385 Desmopan, Capro- lan, Cytar	1,20	(400)	35 (6)		50	80	– 60		hohe Reißdehnung, günstiges Reibungs- und Ver- schleißverhalten, hohe Beständigkeit, hohes Dämp- fungsvermögen; Lager, Dämpfungselemente, Membran- en, Zahnriemen, Dichtungen, Herzklappen, Infusionsschläuche, Schlauchpumpen, Kupplungsele- mente
Acrylnitril-Buta- dien-Kautschuk (Nitrilkautschuk) NBR Perbunan N, Europrene N, Butacril	1,0	(450)	6		50	100	– 30		beständig gegen Öle, Fette und Kraftstoffe, alterungs- ständig abriebfest, wenig kälteflexibel, geringe Gas- durchlässigkeit; Standard-Dichtungswerkstoffe, O-Ringe, Nutringe, Wellendichtringe, Benzschläuche, Membran- en
Ethylen-Propylen- Kautschuk EPDM Buna AP, Vistalon, Keltan	0,86	(500)	4		200	120	– 50		gute Witterungs-, Ozon- und Chemikalienbeständigkeit (außer gegen Öl und Kraftstoff), heißwasserbeständig (Waschlaugen), gute elektrische Isoliereigenschaften; energieabsorbierende Kfz-Außenteile (Spoiler, Stoßfän- ger), Dichtungen, Kühlwasserschläuche, Kabelumman- telungen
Silikonkautschuk MVQ Silopren, Silastic, Elastosil	1,25	(250)	1		200	180	– 80		schwer benetzbar, ausgezeichnete Wärme-, Kälte-, Licht- und Ozonbeständigkeit, sehr gute elektrische Iso- liereneigenschaften, unbeständig gegen Kraftstoff und Wasserdampf, physiologisch unbedenklich; ruhende und bewegte Dichtungen, dauerelastische Fugendichtungen, Vergussmassen, Transportbänder (nicht haftend bzw. heißes Gut), Schläuche

<sup>1)</sup> Dehnung bei der Zugfestigkeit. Klammerwerte gelten für die Bruchdehnung.

<sup>2)</sup> Maximalspannung (Zugfestigkeit), die ein Probekörper während eines Zugversuchs trägt. Klammerwerte gelten für die Biegezugfestigkeit.

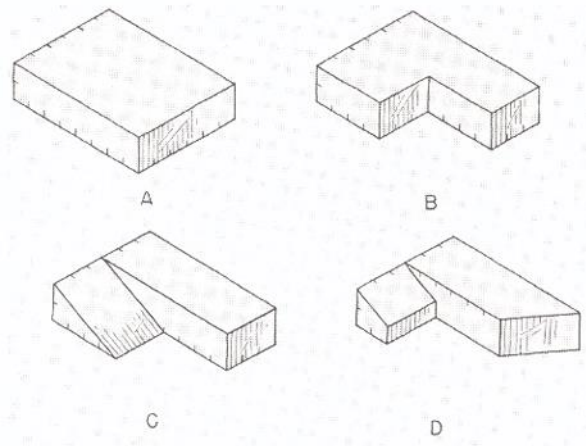
<sup>3)</sup> Siehe Fußnote 3) zu TB 1-1.

Die relativen Werkstoffkosten gelten für mittlere Abmessungen von Kunststoff-Halbzeugen. Die Klammerwerte erfassen nur die reinen Werkstoffkosten (Granulat).

## Razno

### Crtanje

Primjer **PZ-03.01** Izometrijski prikazani komad nacrtati u SolidWorksu. [*French (1966), 134. str*]

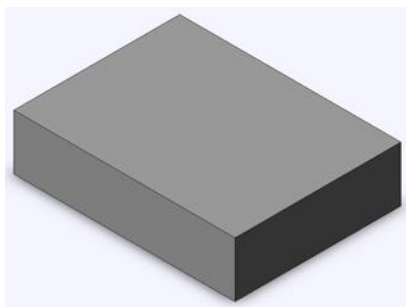


A ⇒ D – faze izrade

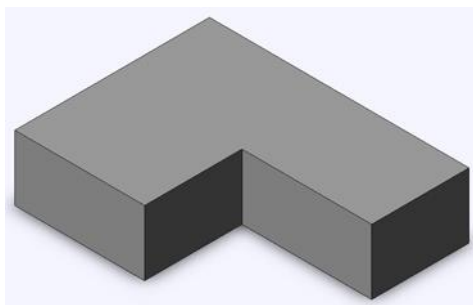
### Rješenje:

Prema izometrijskom nacrtu, dimenzije su komada  $x, y, z = 40 \times 30 \times 10$  mm.

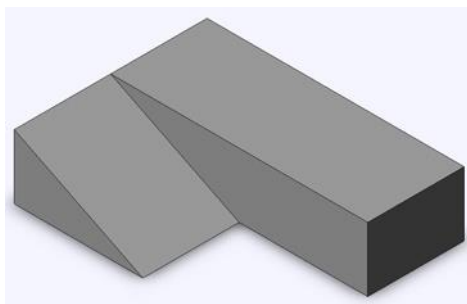
5. Otvori se program SolidWokrs te izabere opcija crtanja komada (*klik na Part – a 3D representation of a single design component*). Aktivira se crtanje trocrta (*klik na Top u prozoru za upravljanje*) i crtanje pravokutnika (*klik na ikonu Rectangle padajućeg izbornika Sketch*) te nacrtat pravokutnik zadanih dimenzija.
6. Pravokutnik se dimenzionira (*klik na opciju Smart Dimension padajućeg izbornika Sketch*) uz obavezno određivanje položaja u crtežu (*dimenzionirati razmake odabrane točke pravokutnika i ishodišta u pravcima x i y*) i zaključi dimenzioniranje (*klik na ikonu X prozora Dimension*).
7. Aktivira se opcija određivanja dimenzije Z (*klik na Extruded Boss/Base padajućeg izbornika Features*) i unese dimenzija Z (*u polju za unos dimenzije prozora Extrude*) te zaključi crtanje (*klik na ikonu X prozora Extrude*).



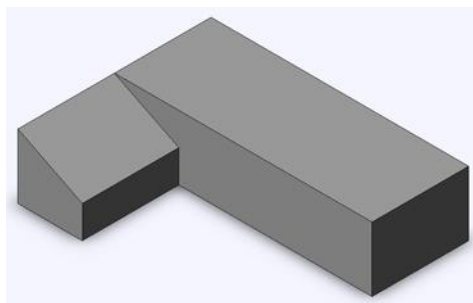
8. Klikne se na gornju ravninu komada i na njoj nacрта te dimenzionira pravokutnik dimenzija  $x, y = 20 \times 15$  mm koga treba izrezati.
9. Izreže se iz komada dio određen pravokutnikom (*klik na Extruded Cut padajućeg izbornika Features*) i zaključi izrezivanje (*klik na ikonu X prozora Cut-Extrude*).



10. Oblikuje se kosina (*klik na ikonu Chamfer padajućeg izbornika Features*).



11. Klikne se na donju ravninu komada i na njoj nacрта, dimenzionira te izreže pravokutnik dimenzija  $x, y = 10 \times 15$  mm.



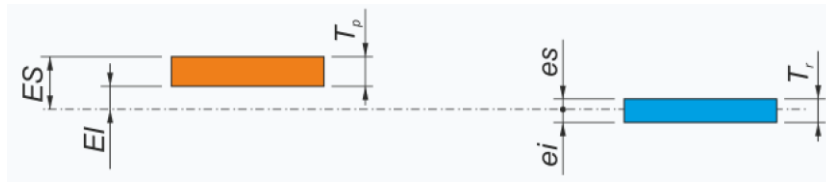
## Tolerancije i dosjedi

**Primjer PZ-03.03** Odrediti veličine odstupanja duljinskih izmjera elemenata i vrstu dosjeda za sklop  $\phi 30H9/k8$ . [Kuzmanović (2009), 1. str]

### Rješenje:

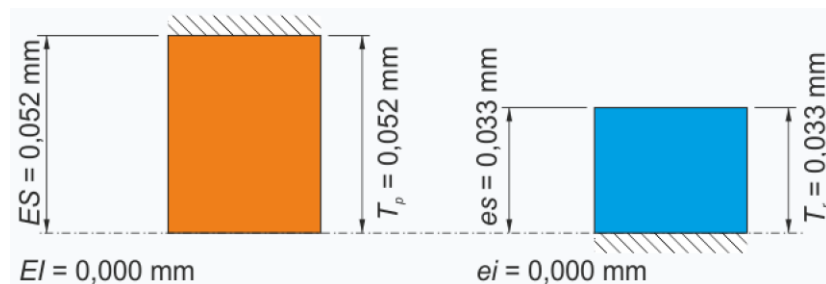
(c) Veličine odstupanja duljinskih izmjera elemenata:

- vrijednosti temeljnih tolerancija (*SD-03.01, TD-03.01*):
  - provrt:  $\phi 30 IT9 \Rightarrow T_p = 0,052 \text{ mm}$
  - rukavac:  $\phi 30 IT8 \Rightarrow T_r = 0,033 \text{ mm}$
- vrijednosti veličina tolerancijskih polja



- provrt:  $\phi 30 IT9 \Rightarrow EI = 0,000$  (*donje temeljno odstupanje – TD-03.04*)  
 $ES = EI + T_p = 0,000 \text{ mm} + 0,052 \text{ mm} = 0,052 \text{ mm}$  (*gornje temeljno odstupanje*)
- rukavac:  $\phi 30 IT8 \Rightarrow ei = 0,000$  (*donje temeljno odstupanje – TD-03.03*)  
 $es = ei + T_r = 0,000 \text{ mm} + 0,033 \text{ mm} = 0,033 \text{ mm}$  (*gornje temeljno odstupanje*)

- položaji tolerancijskih polja u odnosu na nul-crtu



ISO – Tolerancije	
$\phi 30H9$	+ 0,052 0,000
$\phi 30k8$	+ 0,033 0,000

(d) Vrsta dosjeda:

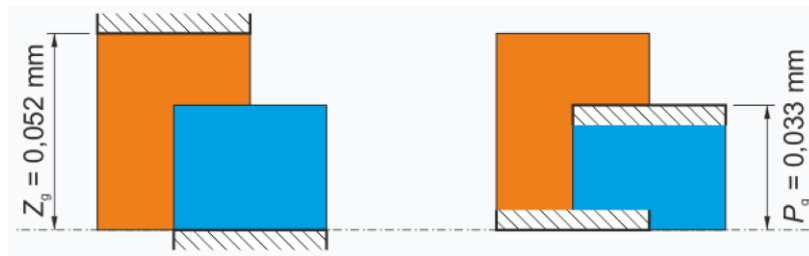
prijelazni dosjed

$$ES = 0,052 \text{ mm} > ei = 0,000 \text{ mm} \quad \text{– zračnost}$$

$$EI = 0,000 \text{ mm} < es = 0,033 \text{ mm} \quad \text{– prijeklop}$$

- najveća zračnost:

- $Z_g = ES - ei = 0,052 - 0,000 = 0,052 \text{ mm} \quad (=D_g - d_d)$
- najveći prijeklop:
  - $P_g = EI - es = 0,000 - 0,033 = -0,033 \text{ mm} \quad (=D_d - d_g)$



ISO – Dosjed	
$\phi 30H9/k8$	+ 0,052
	- 0,033



## Provjera znanja

Kod prezentacija i računskih zadataka ocjenjuje se: zanimljivost, sadržaj, obim, razina i estetika.

### *Prezentacija*

- Svaki student u grupi priprema prezentaciju uz korištenje programa: PowerPoint, CorelDraw i Photoshop;

### *Izračunavanja*

- Računske zadatke rade timovi od po 3 studenta (2 ili 4);
- Tekst se piše u Word-u s formulama pisanim uz korištenje MathType-a;
- Crteži se izrađuju u CorelDraw i/ili AutoCAD-u i/ili SolidWorks-u;
- Zadacima se prilažu MATLAB semi-programi (format \*.m);

## 3. Zadatak – **03 Usvajanje elemenata:** (50 bodova)

- (a) Izraditi prezentaciju odabrane teme iz Usvajanja elemenata (10 bodova);
- (b) Nacrtati tri odabrana tijela u SolidWorks-u – 3D (20 bodova) i precrtati ih u AutoCAD-u – projekcije (5 bodova);
- (c) Odrediti tolerancije elemenata i dosjed odabranog sklopa (15 bodova).

### 3. Zadatak – (a) *Prezentacija* (10 bodova)

Izraditi prezentaciju odabrane teme iz Usvajanja elemenata.

Napomena: Naslov teme može biti jednak ili uži od sljedećih naslova tema:

#### *Teme*

1. Tehnologija usvajanja elemenata
2. Praktični proračun čvrstoće elementa
3. Krutost elemenata strojeva
4. Pouzdanost elemenata strojeva
5. Norme u strojarstvu
6. Normni brojevi
7. Normirani proračuni i normirani elementi strojeva
8. Geometrija i površine elemenata
9. Tolerancije
10. Tolerancije dužinskih izmjera i tolerancijska polja
11. Tolerancije oblika i položaja
12. Sklopovi i dosjedi
13. Označavanje geometrije na tehničkim crtežima
14. Vrste inženjerske grafike
15. Prostorna grafika
16. Tehnički crteži
17. Osnove računalno podržanog oblikovanja
18. Namjena i pogodnosti programa AutoCAD
19. Namjena i pogodnosti programa SolidWorks

**3. Zadatak – (b) Oblikovanje i crtanje (25 bodova)**

Nacrtati tri odabrana tijela u SolidWorks-u – 3D (20 bodova i precrtati ih u AutoCAD-u – projekcije (5 bodova).

**3. Zadatak – (c) Tolerancije i dosjedi** (15 bodova)

Odrediti tolerancije elemenata i dosjed odabranog sklopa.

## Pregled literature

1. Alfirevic I., Sikic Z., Budin I.: Inzinjerski prirucnik IP 1 – temelji inženjerskih znanja; Skolska knjiga, 1996.
2. Ambrosius L.: AutoCAD 2008 3D Modeling Workbook For Dummies; Wiley 2008.
3. Androić B., Dujmović D., Džeba I.: Metalne konstrukcije 1 – Eurocode; Institut građevinarstva Hrvatske, 1994.
4. Ashby M. F., Johnson K.: Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design; Butterworth-Heinemann, 2002.
5. Bećirović H.: Nacrtna geometrija s tehničkim crtanjem i zbirkom zadataka; Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, 2000.
6. Benhabib B.: Manufacturing – Design, Production, Automation, and Integration; Marcel Dekker, 2003.
7. Böge A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
8. Böge A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage; Vieweg, 2007.
9. Brown T. H. Jr.: Mark's Calculations For Machine Design; McGraw-Hill, 2005.
10. Budynas R. G., Nisbett J. K.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 9<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2011.
11. Budynas R. G., Nisbett K. J.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 8<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2008.
12. Chang K.-H.: Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007; Schroff Development Corporation, 2008.
13. Chapra S. C.: Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2006.
14. Czichos H., Hennecke M.: Hütte – Das Ingenieurwissen 33. Auflage; Springer, 2008.
15. DIN – Deutsches Institut für Normung: Klein Einführung in die DIN-Normen, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
16. Drake P.: Dimensioning and Tolerancing Handbook; McGraw-Hill, 1999.
17. Finkelstein E.: AutoCAD 2004 Bible; Wiley, 2003.
18. Fleischer B., Theumert H.: Entwickeln Konstruieren Berechnen – Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
19. French T. EC. J.: A Manual of Engineering Drawing for Students & Draftsmen, 10th Edition; McGraw-Hill, 1966.
20. Gekeler E. W.: Mathematische Methoden zur Mechanik – Ein Handbuch mit MATLAB- Experimenten; Springer, 2006.
21. Green P.: The Geometrical Tolerancing Desk Reference Creating and Interpreting ISO Standard Technical Drawings; Newnes, 2005.
22. Griffiths B.: Engineering Drawing for Manufacture; Elsevier Science & Technology, 2003.
23. Grote K.-H., Antonsson E. K.: Springer Handbook of Mechanical Engineering; Springer, 2009.
24. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
25. Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
26. Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 15. Auflage; Springer, 2009.
27. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.
28. Hoischen H.: Technisches Zeichnen – Grundlagen, Normen, Beispiele, Darstellende Geometrie, 27. Auflage; Cornelsen-Girardet, 1998.
29. Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
30. Karam F., Kleismit C.: Using Catia V5, Thomson Learning, prevedeno na srpski; Svetlost, 2004.

31. Khan W. A., Raouf A.: Standards for Engineering Design and Manufacturing; CRC – Taylor & Francis, 2006.
32. Kljajin M., Opalić M.: Inženjerska grafika; Sveučilišni udžbenik; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010.
33. Koludrović Ć., Koludrović-Harbić I., Koludrović R.: Tehničko crtanje u slici s kompjutorskim aplikacijama, 5. izdanje, Ć.I.R. – Rijeka, 1994. .
34. Kraut B.: Strojarski priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.
35. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
36. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 2, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
37. Kurz U., Wittel H.: Böttcher/Forberg Technisches Zeichnen – Grundlagen, Normung, Darstellende Geometrie und Übungen, 25 Auflage; Vieweg+Teubner, 2010.
38. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 1: Materials and Mechanical Design; Wiley, 2005.
39. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook, 2nd Edition; Wiley, 1998.
40. Letić D.: U Praksi – CAD Mašinskih elemenata i konstrukcija; Kompjuter biblioteka, 2004.
41. Lombard M.: SolidWorks 2007 Bible; Wiley 2007.
42. Loomis A.: Successful Drawing; Viking Adult, 1951.
43. Lyshevski S. E.: Engineering and Scientific Computations Using MATLAB; John Wiley & Sons, 2003.
44. Marchand P., Holland T. O.: Graphics and GUIs with MATLAB, 3rd Edition; Chapman & Hall / CRC, 2003.
45. Moore H.: MATLAB for Engineers, 2nd Edition; Pearson - Prentice Hall, 2008.
46. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Becker M., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Interaktive Formelsammlung auf CD-ROM, 8. Auflage; Vieweg, 2006.
47. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Aufgabensammlung – Aufgaben, Lösungshinweise, Ergebnisse, 14. Auflage; Vieweg, 2007.
48. Nahrstedt H.: Algorithmen für Ingenieure – realisiert mit Visual Basic – Eine anwendungsorientierte Einführung – Problemanalyse und Lösungsweg anhand konkreter Beispiele; Vieweg & Sohn, 2005.
49. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
50. Norton R. L.: Design of Machinery – An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 2<sup>nd</sup> Edition; WCB/McGraw-Hill, 1999.
51. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 27<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2004.
52. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 28<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2008.
53. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung, 7. Auflage; Springer, 2007.
54. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
55. Pietruszka W. D.: MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis – Modellbildung, Berechnung und Simulation, 2. Auflage; Teubne, 2006.
56. Planchard D. C., Planchard M. P.: Drawing and Detailing with SolidWorks 2005; Schroff Development Corporatio, 2005.
57. Planchard D. C., Planchard M. P.: Engineering Design with SolidWorks 2001Plus – A Competency Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling; Schroff Development Corporatio, 2001.
58. Podhorsky R.: Tehnička enciklopedija, sveske 1÷13; Leksikografski zavod, 1963÷1997.
59. Protić V., Filipović R., Marković M.: Autodesk Mechanical Desktop 6 – osnovni kurs – srpski (en. Autodesk Mechanical Desktop 6 Fundamentals Courseware); CET, 2002.
60. Schier K.: Finite Elemente Modelle der Statik und Festigkeitslehre – 101 Anwendungsfälle zur Modellbildung; Springer 2011.
61. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 1996.

62. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 3<sup>rd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 2004.
63. Simmons C. H., Maguire D. E.: Manual of Engineering Drawing – to British and International Standards, 2nd Edition; Elsevier – Newnes, 2004.
64. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
65. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – Sheet Metal and Weldments; SolidWorks Corporation, 2006.
66. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks Essentials – Drawings; SolidWorks Corporation, 2006.
67. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks Essentials – Parts and Assemblies; SolidWorks Corporation, 2006.
68. Spotts M. F.: Design of Machine Elements; 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 1961.
69. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen, 7. Auflage; Springer, 2008.
70. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
71. Ullman D. G.: The Mechanical Design Process, 4<sup>th</sup> Edition; 2010.
72. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi I, 10. izdanje; Naucna knjiga, 1990.
73. Whitney D. E.: Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development; Oxford University Press, 2004.
74. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Lehrbuch und Tabellenbuch – Normung, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.