

# 7. Vijčani spojevi

7.	Vijčani spojevi.....	
<b>7.1</b>	<b>Osnove vijčanih spojeva.....</b>	<b>2</b>
7.1.1	Uvod.....	2
7.1.2	Struktura i nazivlje vijčanih spojeva.....	4
7.1.3	Zavojnica i navoji.....	7
7.1.4	Vrste i označavanje vijaka i matica.....	9
7.1.5	Osnovna svojstva vijčanih spojeva.....	10
<b>7.2</b>	<b>Sistematizacija vijčanih spojeva.....</b>	<b>12</b>
7.2.1	Nazivlje vijčanih spojeva.....	12
7.2.2	Vrste i primjeri elemenata vijčanih spojeva.....	13
7.2.3	Vrste i primjeri zavrtnja.....	15
7.2.4	Vrste i primjeri vijčanih spojeva.....	15
7.2.5	Osnovna svojstva vijčanih spojeva.....	16
<b>7.3</b>	<b>Usvajanje vijčanih spojeva.....</b>	<b>16</b>
7.3.1	Zahtjevi vijčanih spojeva.....	17
7.3.2	Oblikovanje vijčanih spojeva.....	17
7.3.3	Proračun vijčanih spojeva.....	17
7.3.4	Primjeri usvajanja vijčanih spojeva.....	28
7.3.5	Norme vijčanih spojeva.....	28
7.3.6	Kontrolni proračun vijčanih spojeva.....	28
<b>7.4</b>	<b>Primjena vijčanih spojeva.....</b>	<b>28</b>
7.4.1	Izrada elemenata vijčanih spojeva.....	28
7.4.2	Montaža i demontaža vijčanih spojeva.....	29
7.4.3	Režimi rada i vijek trajanja vijčanih spojeva.....	30
7.4.4	Održavanje vijčanih spojeva.....	30
7.4.5	Odlaganje vijčanih spojeva.....	30
7.4.6	Pogreške u primjeni vijčanih spojeva.....	30
	<b>Dodatak.....</b>	<b>31</b>
	<b>Literatura.....</b>	<b>45</b>

## Ishodi učenja:

- Razumijevanje osnova vijčanih spojeva** (definicija, elementi, funkcioniranje, osnovna svojstva).
- Usvojena znanja iz sistematizacije vijčanih spojeva** (ispravno oblikovanje i pogreške).
- Usvojena znanja iz konstruiranja vijčanih spojeva** (norme, proračun, primjeri usvajanja).
- Usvojena znanja iz primjene vijčanih spojeva** (izrada i kvalitete vijaka i matica, tehnologija spajanja, korištenje).

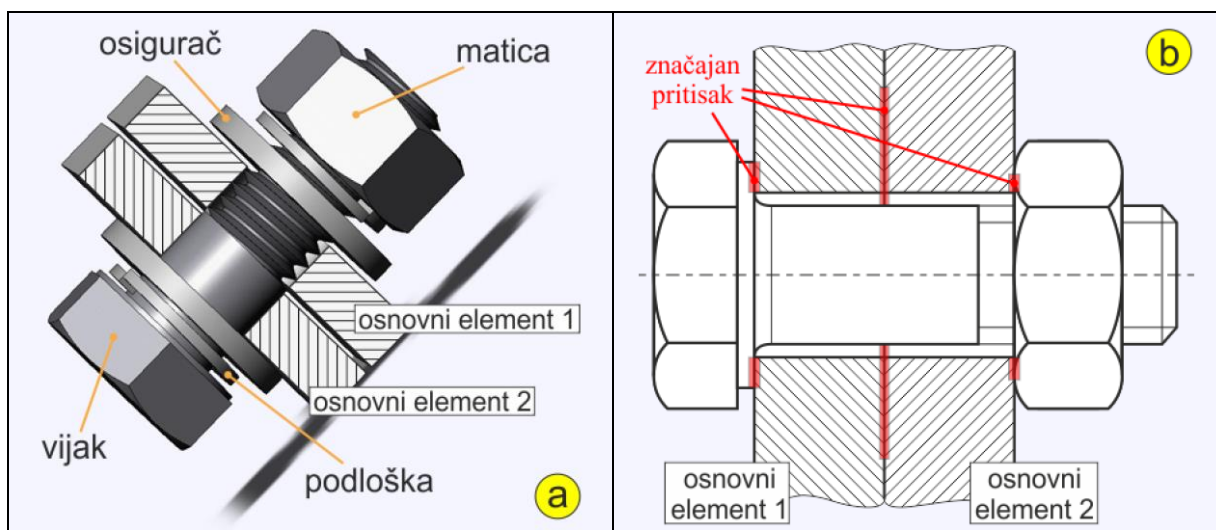
## 7.1 Osnove vijčanih spojeva

### 7.1.1 Uvod



**Slika 07.01** Vijčani spojevi dijelova motora SUI (*glava/bregasta/ventili*)

Vijčanim se spojevima, uz korištenje pomoćnih elemenata – vijaka i/ili matice (*podloški i osigurača*), spajaju osnovni spajani strojni elementi u lako rastavljive sklopove (*S-07.02 – b*). Pri spajanju (*po navlačenju osigurača i podloške na tijelo vijka*) uvlači se vijak kroz provrte osnovnih elemenata (*na tijelo vijka navlače podloška i osigurač*) i na vijak navrće matica. Uz pomoć jednog ključa sprječava se okretanje vijka dok se drugim ključem okreće matica i time priteže vijčani spoj. U pritegnutom vijčanom spoju prisutni su značajni pritisci između osnovnih strojnih elemenata koji sprječavaju njihova uzajamna pomicanja u ravnini okomitoj na os vijčanog spoja (*S-07.02 – a*).



**Slika 07.02** Vijčani spoj osnovnih strojnih elemenata

Osnovna su svojstva vijčanog spoja:

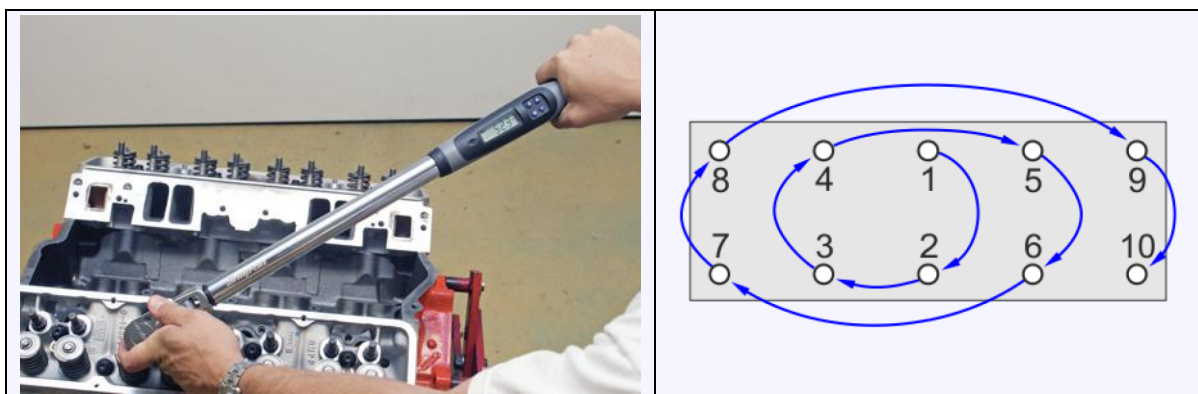
1. rastavljiv (*moгу se rastaviti bez razaranja spojenih elemenata*),
2. nepomičan (*spojeni elementi ne mogu se uzajamno pomicati*),
3. posredni (*za spajanje osnovnih elemenata koristi se pomoćni element – vijak, matica, podloška, o-sigurač*),
4. tarno-oblikovni (*element za spajanje sprječava uzajamno gibanje spojenih elemenata: I. statičkim trenjem dodirnih površina elemenata i II. oblikom spoja*).
5. tehnološko mehanički (*radom obavljenim pri spajanju su dijelovi spoja elastično deformirani*).

Vijčani spojevi su najčešće korišteni rastavljivi spojevi u strojarstvu. Prema namjeni razlikuju se:



**Nosivi** – uzajamno povezivanje mehanički opterećenih strojnih elemenata (*S-07.03*).

**Dosjedni** – uzajamno pozicioniranje spajanih strojnih elemenata (*S-07.03*).



**Slika 07.03** Pritezanje glave motora SUI

**Zatezni** – uspostavljanje potrebne sile u zateznom sklopu (*S-07.04*).

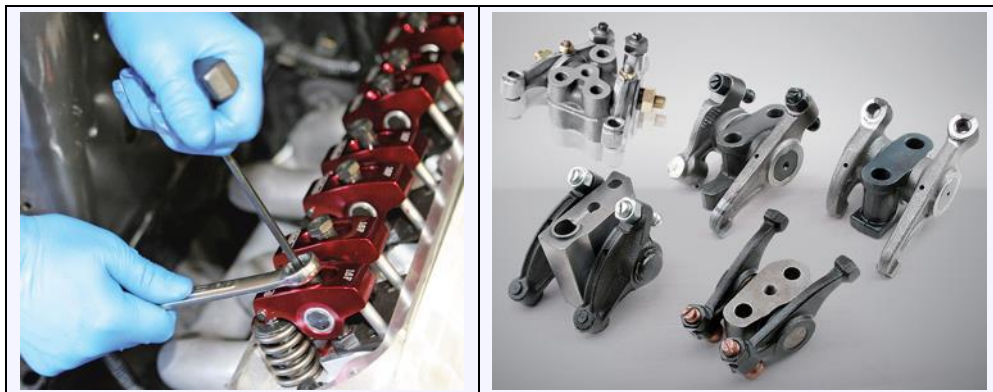


**Slika 07.04** Zateznik

**Prijenosni** – prijenos momenta/sile uz pretvorbu kružno/pravocrtno gibanje (*obrađeni u knjizi Strojnim elementima 2*).

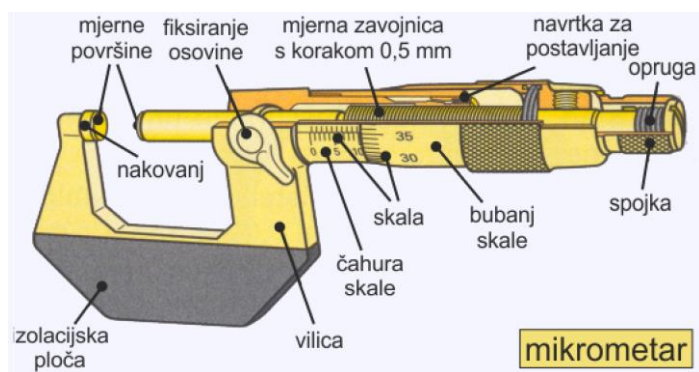
**Brtveni** – zatvaranje ulaznih/izlaznih otvora (*obrađeni u odjeljku 08. Statičke brtve*).

**Diferencijalni** – podešavanje uzajamnih položaja strojnih elemenata i sklopova (*S-07.05*).



Slika 07.05 Podešavanje zračnosti ventila SUI

Mjerni – mjerenje dužina (mikrometar – S-07.05).



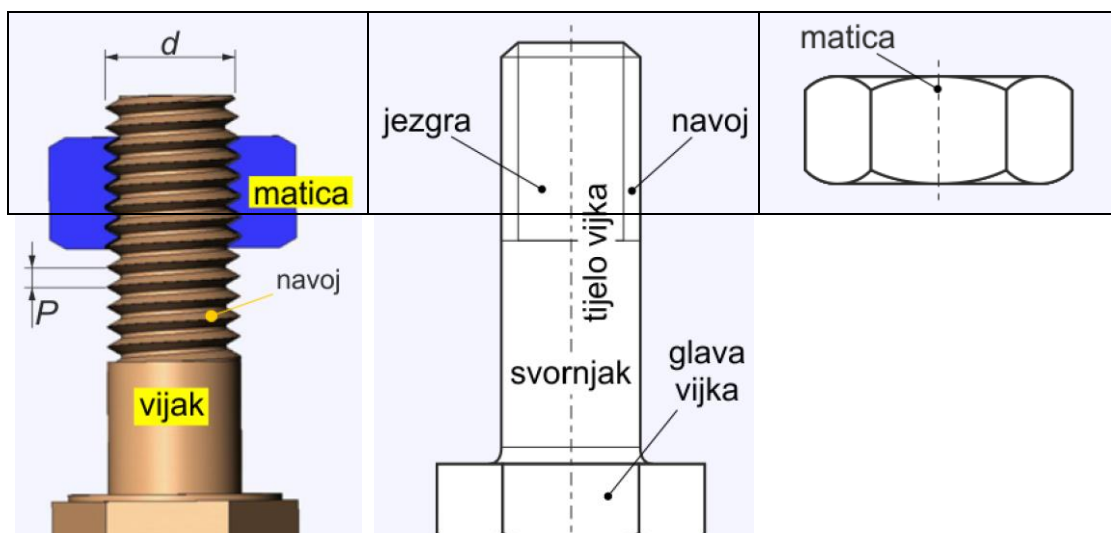
Slika 07.05 Mjerni vijčani spoj

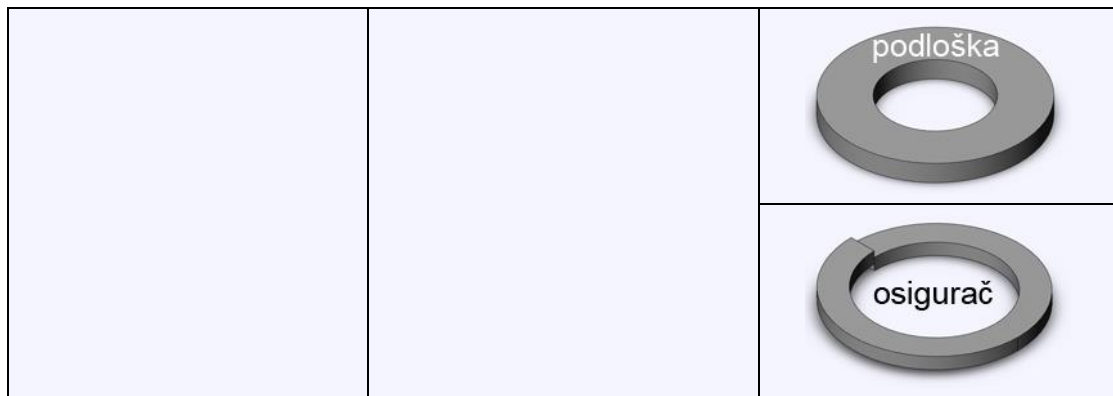
### 7.1.2 Struktura i nazivlje vijčanih spojeva

U vijčanom spoju se razlikuju:



Dva su osnovna spojna elementa vijčanog spoja vijak i matica (S-07.06).





**Slika 07.06** Spojni elementi vijčanog spoja i njihovi dijelovi

**Vijak** – osnovni element vijčanog sklopa s vanjskim navojem (*izrađen postupcima plastične deformacije i/ili odvajanja strugotine*).

Dijelovi su vijka (*S-07.06*):

1. tijelo, koje obuhvaća:
  - jezgru dijela s navojem,
  - navoj,
  - svornjak i
  - zaobljenje na prijelazu tijelo/glava vijka
2. glava.

**Matica** – osnovni element vijčanog sklopa s unutarnjim navojem (*izrađen postupcima plastične deformacije i/ili odvajanja strugotine*).

Pomoćni su spojni elementi vijčanog sklopa podloška i osigurač (*S-07.06*).

**Podloška** – pomoćni spojni element vijčanog sklopa namijenjen smanjenju pritiska glave vijka na osnovni spajani strojarski element.

**Osigurač** – pomoćni spojni element vijčanog sklopa namijenjen osiguranju od spontanog (*neželjenog, izazvanog djelovanjem vanjskih utjecaja*) odvrtnja matice/vijka.

Osnovne su normirane dimenzije vijčanih spojeva (*S-07.06*):

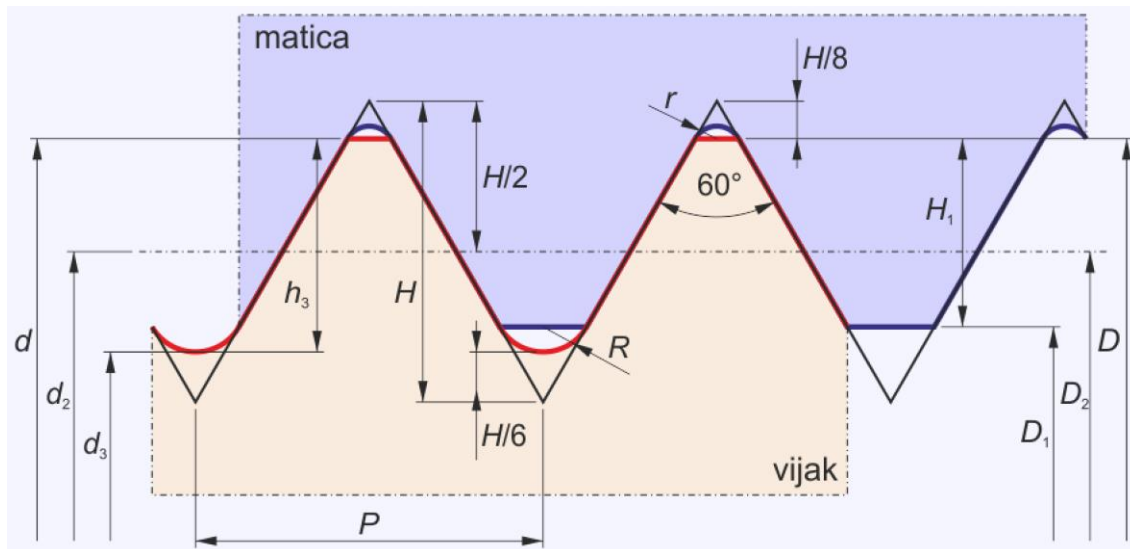
- nazivni promjer vijka,  $d$ , mm,
- korak navoja (*razmak između dva susjedna navojka*),  $P$ , mm.

Pored osnovnih normirane su i druge dimenzije vijka/matrice. Kao primjer, na Na primjer, na **S-07.07** prikazane dimenzije metričkog ISO navoja (*ISO 261*):

- $d_2$  – srednji promjer vijka, mm,
- $d_3$  – promjer jezgre vijka, mm,
- $D_1$  – promjer svijetlog otvora matice, mm,
- $H_1$  – nosiva dubina navoja, mm,
- $h_3$  – dubina navoja, mm,
- $H$  – visina temeljnog ravnokrakog trokuta profila navoja, mm,
- $\varphi$  – kut profila navoja, °,

- $R$  – polumjer zaobljenja dna profila vijka, mm,
- $r$  – polumjer zaobljenja dna profila matice, mm.

Dimenzije ISO metričkog navoja su određene u normi ISO 724.



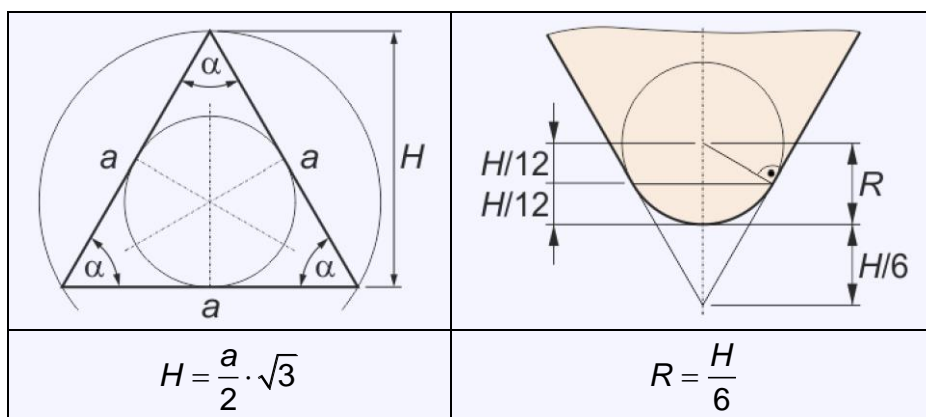
**Slika 07.07** Spojni elementi vijčanog spoja i njihovi dijelovi

$$P = \text{korak} \quad D = d = \text{korak}$$

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot P = 0,86603 \cdot P \quad H_1 = \frac{5}{8} \cdot H = 0,54127 \cdot P \quad h_3 = \frac{17}{24} \cdot H = 0,61343 \cdot P$$

$$R = \frac{1}{6} \cdot H = 0,14434 \cdot P \quad D_2 = d_2 = d - 0,64953 \cdot P \quad D_1 = d - 2 \cdot H_1$$

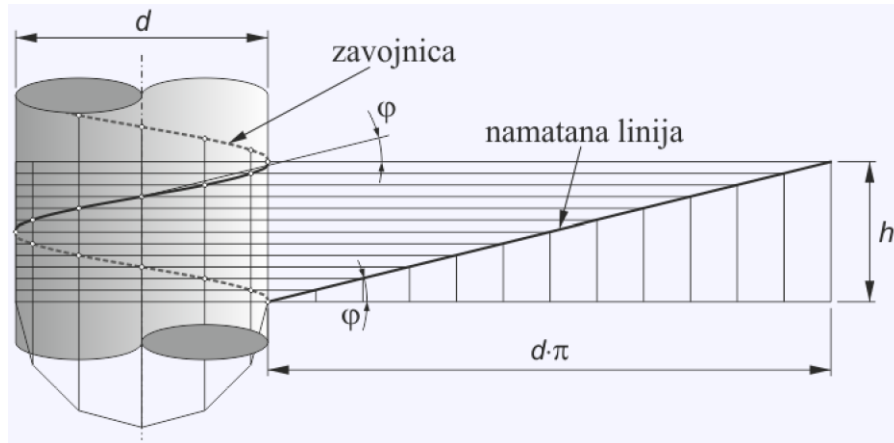
$$d_3 = d - 1,22687 \cdot P \quad A_3 = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$



**Slika 07.08** Detalji geometrije ISO metričkog navoja

### 7.1.3 Zavojnica i navoji

**Zavojnica** – dobiva se namatanjem kose linije oko cilindra.



**Slika 07.09** Oblikovanje zavojnice (*desna zavojnica*)

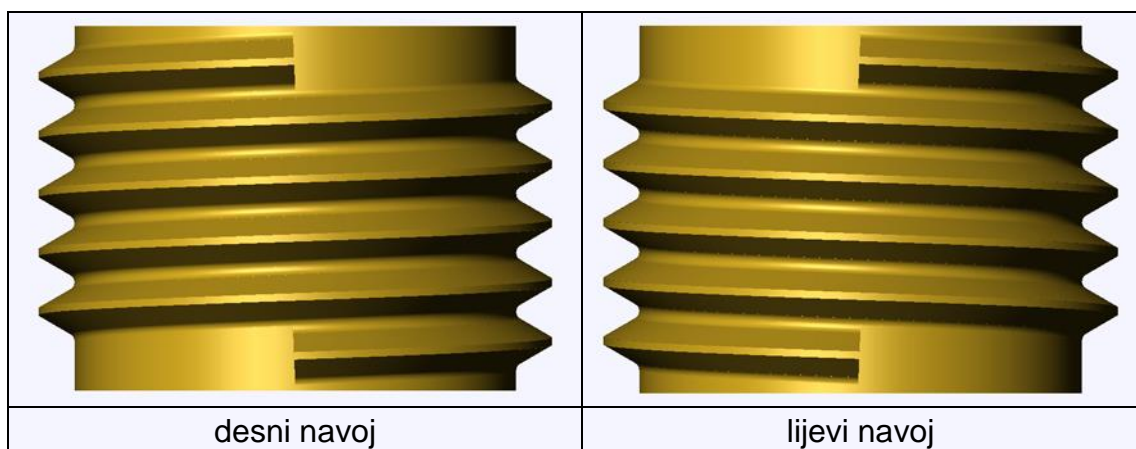
Tangens kuta zavojnice ( $\varphi$ ):

$$\tan \varphi = \frac{h}{d \cdot \pi}$$

gdje je:  $h$  – uspon, mm,  
 $d$  – promjer cilindra, mm.

Desna se zavojnica formira namatanjem linije oko cilindra u smjeru obrnutom od kazaljke na satu (*gledano s gornje strane strane cilindra – S-07.09*), dok se lijeva formira namatanjem u smjeru kazaljke na satu.

**Navoj** – dobiva se namatanjem različitih profila duž zavojnice. Može se zamisliti kao tijelo oblikovano gibanjem geometrijskog lika duž zavojnice. Na primjer, namatanjem u izvjesnoj mjeri izmijenjenog jednakostraničnog trokuta dobiva se metrički ISO navoj (*S 07.10*).

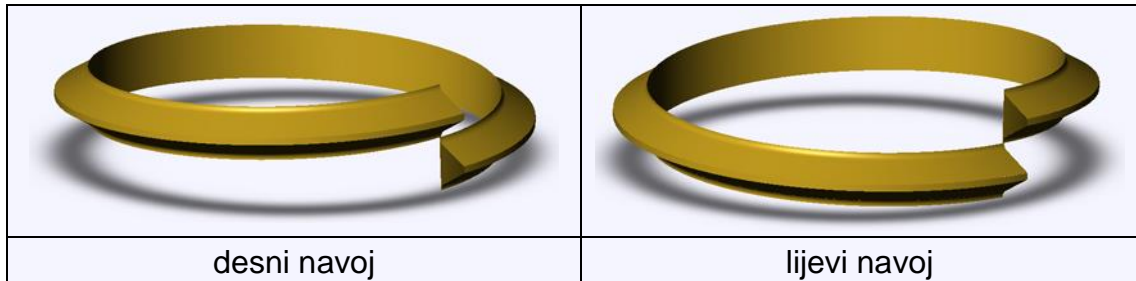


**Slika 07.10** Oblikovanje navoja namatanjem profila

Na **S 07.10** se opaža uspon:

- desnog navoja slijeva udesno,
- lijevog navoja sdesna ulijevo.

**Navojak** – dio navoja koji odgovara jednom punom krugu (*S 07.11*).

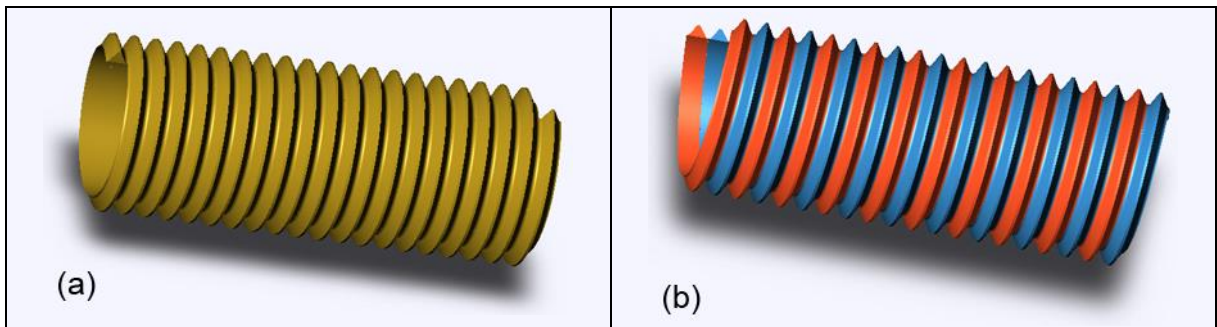


**Slika 07.11** Navojak

Kod vijka s jednim navojem (*jedan početak – S-07.12, a*) uspon ( $P$  – *S-07.06 i S-07.07*) jednak je koraku ( $h$  – *S 07.06*), a kod vijaka s više navoja (*dva početka – S 07.07, b*) uspon je veći od koraka razmjerno broju navoja.

$$h = n \cdot P$$

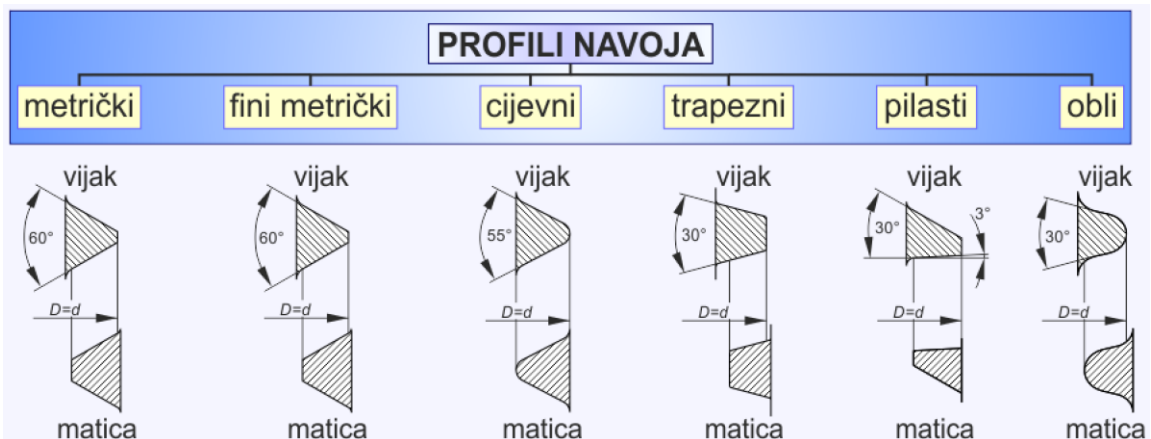
gdje je:  $n$  – broj navoja, 1.



**Slika 07.12** Navoj sa: (a) jednom i (b) dvije zavojnice

Navoj je najvažniji dio vijka/matice – preko navoja se uspostavlja vijčani spoj i prenose opterećenja.

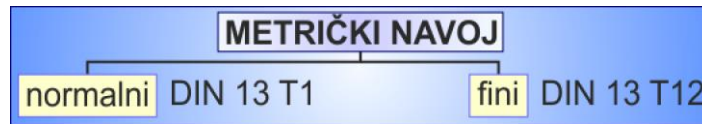
Prema profilu navoja razlikuju se:





**Metrički ISO navoj** ima za osnovu profil jednakostraničnog trokuta (*S-07.07*).

U normi DIN 13 razlikuju se:



Normalni metrički navoji označavaju se slovom M koje slijedi nazivni promjer navoja  $d$  u mm, npr. M 20.

Kod finih metričkih navoja uz oznaku se još dodaje i veličina koraka  $P$  u mm, npr. M  $20 \times 1,5$  (*metrički navoj nazivnog promjera 20 mm s korakom 1,5 mm*).

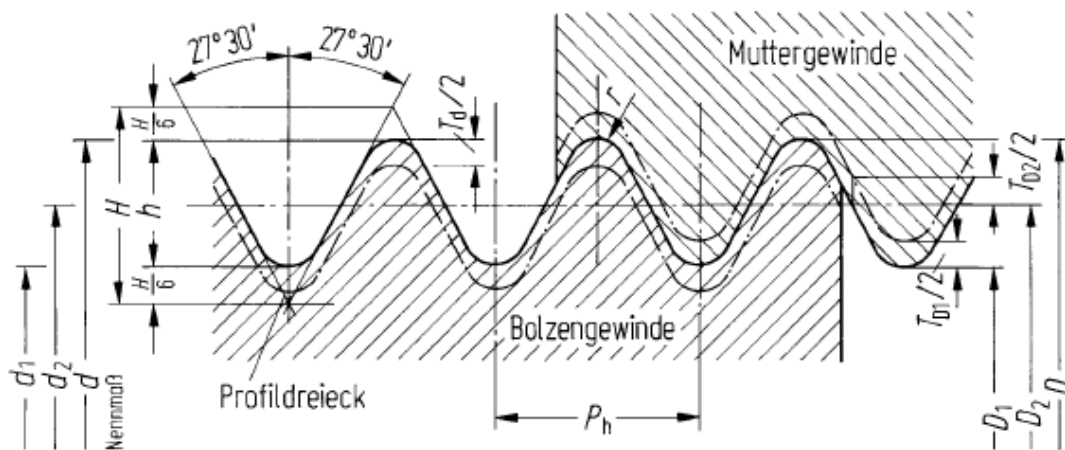
Ako se radi o lijevom navoju, oznaci navoja dodaje se i međunarodna oznaka LH, npr. M  $20 \times 1,5$  LH (*metrički navoj nazivnog promjera 20 mm s korakom 1,5 mm s lijevim navojem*).

**Whitworthov cjevni navoj** ima profil jednakostraničnog trokuta s kutom  $\beta = 55^\circ$ .

Zbog mogućnosti dobrog brtvljenja upotrebljavaju se za spajanje cijevi vodovodnih ili plinskih instalacija i raznih armatura.

Normiran je u ISO 228, DIN 2999 i DIN 3858.

Nazivni promjer cjevnog navoja slaže se s unutarnjim promjerom cijevi. Označuje se slovom R i nazivnim promjerom u colima, npr. **R 1/2"**.



$$P = \frac{25,4}{z}$$

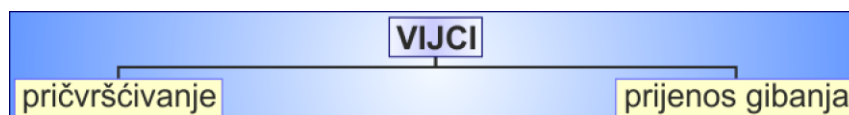
$$H = 0,9604491 \cdot P$$

$$h = 0,640327 \cdot P$$

$$r = 0,137329 \cdot P$$

### 7.1.4 Vrste i označavanje vijaka i matica

Prema namjeni vijčani spojevi dijele se u dvije osnovne grupe:



Prema gibanju vijčani spojevi dijele se u dvije grupe:



Kod statičkih se vijčanih spojeva tijekom uporabe elementi spoja uzajamno ne gibaju (*pritezni vijčani spoj, zatezni vijčani spoj*) a kod dinamičkih gibaju (*vijčani prijenosnik*).

U *Elementima strojeva 1* su obrađeni vijci za pričvršćivanje dok su vijci za prijenos gibanja obrađeni u *Elementima strojeva 2*.

### 7.1.5 Osnovna svojstva vijčanih spojeva

Materijal od kojeg se izrađuju vijci matice uglavnom je žilav čelik. Kvaliteta čelika za vijke označava se s dva broja:

- prvi broj označava minimalnu vlačnu čvrstoću/100
- drugi broj označava omjer minimalne granice tečenja i minimalne vlačne čvrstoće a kvaliteta čelika za izradu matica s jednim brojem – minimalna vlačna čvrstoća/100.

Vijci ⇒	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
$R_m$	400	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1400
$R_e/R_{p0,2}$	240	320	300	400	360	480	540	640	900	1080	1260
Matice ⇒	4		5		6			8	10	12	14

Primjer:

$$\mathbf{6.8} \quad R_m/100 = 600/100 = \mathbf{6}$$

$$R_e/R_m = 480/600 = \mathbf{0.8}$$

Materijal od kojeg se izrađuju vijci matice uglavnom je žilav čelik. Kvaliteta čelika za vijke označava se s dva broja:

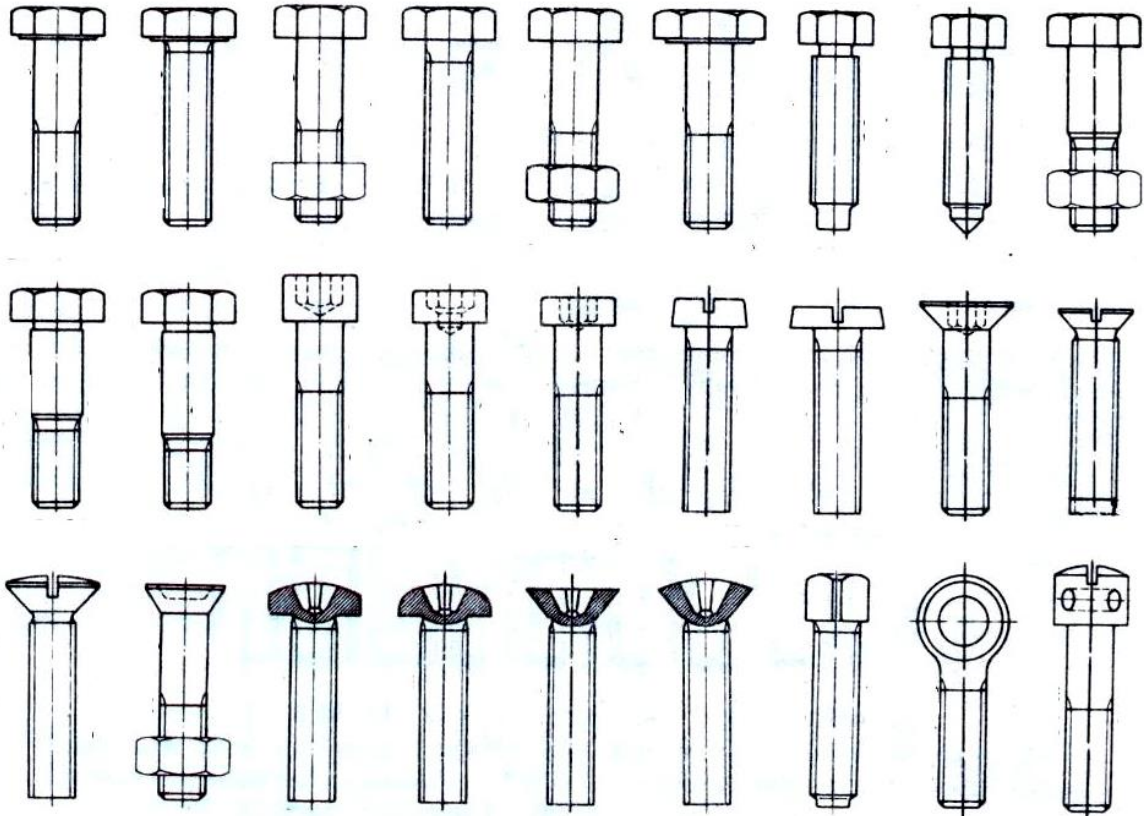
- prvi broj označava minimalnu vlačnu čvrstoću/100
- drugi broj označava omjer minimalne granice tečenja i minimalne vlačne čvrstoće

a kvaliteta čelika za izradu matica s jednim brojem – minimalna vlačna čvrstoća/100.

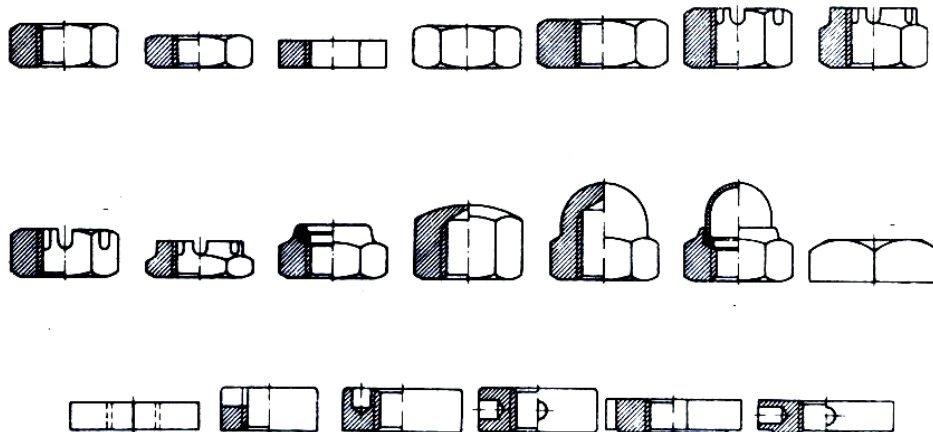
Vijci ⇒	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
$R_m, N/mm^2$	400	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1400
$R_e/R_{p0,2}$	240	320	300	400	360	480	540	640	900	1080	1260
Matice ⇒	4		5		6			8	10	12	14

Primjer:

6.8    6     $\Rightarrow$      $R_m / 100 = 600 / 100 = 6$   
           8     $\Rightarrow$      $R_e / R_{p0,2} = 480 / 600 = 0,8$



Visina matice za normalni navoj je  $m \approx 0,8 \cdot d$ .



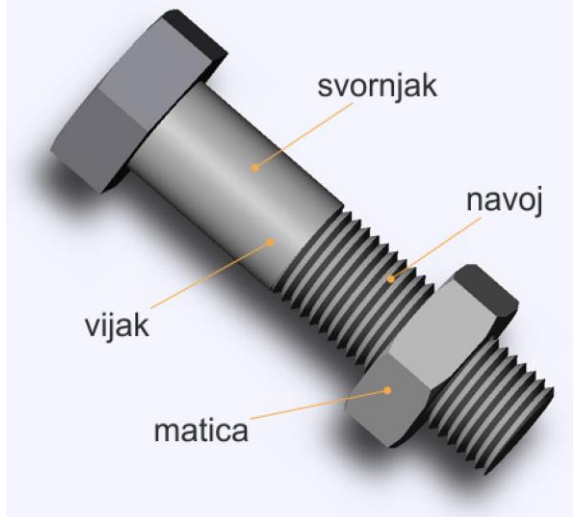
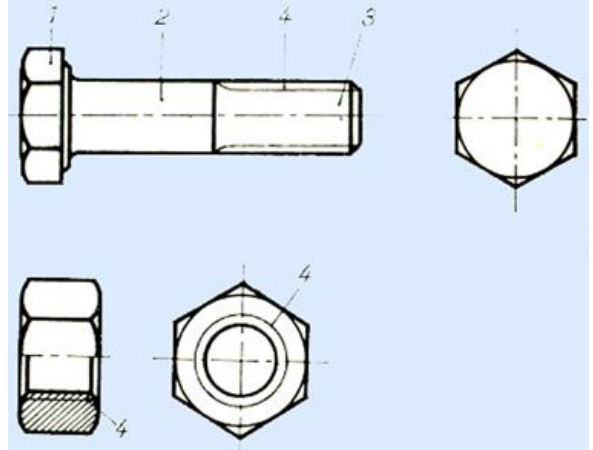
## 7.2 Sistematizacija vijčanih spojeva

### 7.2.1 Nazivlje vijčanih spojeva

**Navoj** – dio vijka/matice spoja koji se dobiva na temelju zavojnice (*prostorna geometrijska krivulja*) i ima prikladan oblik poprečnog presjeka (*usvojeni geometrijski lik*).

**Zavojnica** – krivulja koja se dobije obavijanjem kosog pravca oko cilindra. Smjer obavijanja pravca može biti desni – desna zavojnica (*cilindar rotira u smjeru kazaljke na satu*) ili lijevi – lijeva zavojnica (*cilindar rotira u smjeru obrnutom od kazaljke na satu*). Konusna se zavojnica dobiva obavijanjem kosog pravca oko konusa.

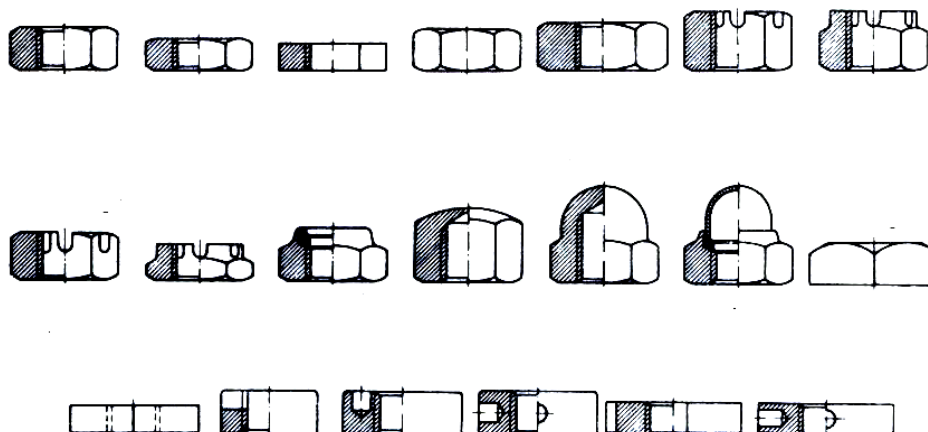
**Korak zavojnice,  $P$** , mm – udaljenost dvije susjedne točke zavojnice na pravcu presjeka ravnine postavljene kroz os cilindra (*konusa*) i oplošja cilindra (*konusa*). Dio zavojnice između tih točaka se naziva navojkom.

	
	<p>(1) glava vijka, (2) tijelo vijka, (3) jezgra, (4) navoj</p> <p>3. Svornjak</p> <p>4. Jezgra</p> <p>5. Navoj</p>

## 7.2.2 Vrste i primjeri elemenata vijčanih spojeva

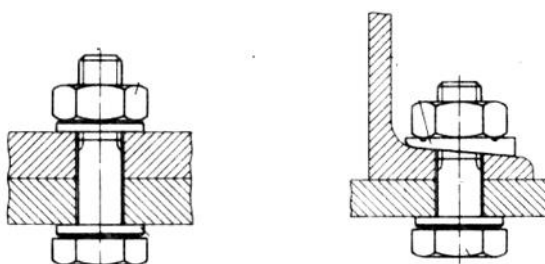
### Matice

Visina matice za normalni navoj je  $m \approx 0,8 \cdot d$ .



### Podloške i osigurači vijčanih spojeva

Podložne pločice – strojni elementi koji se stavljaju ispod matice i glave vijaka kad njihov pritisak treba raspodijeliti na veću površinu, kada treba izbjeći trenje na naliježnu površinu ili kada je dosjedna površina hrapava. Izrađuju se od čelika, aluminija, bakra, mesinga i bronce.

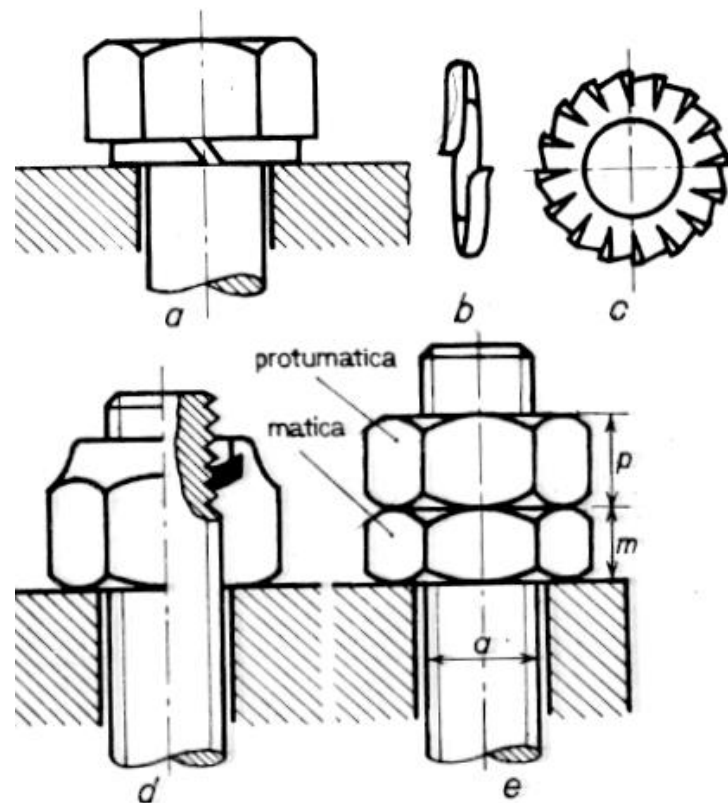


Elementi za osiguranje vijčanih spojeva – Pri mirnom opterećenju i samokočnom vijku ne postoji opasnost od odvrtanja vijčanog spoja. Pri dinamičkim opterećenim vijčanim spojevima, samokočnost nije dovoljan uvjet da se spoj osigura. Takvi se vijci moraju posebno osiguravati.

Prema načinu osiguranja dijele se na:

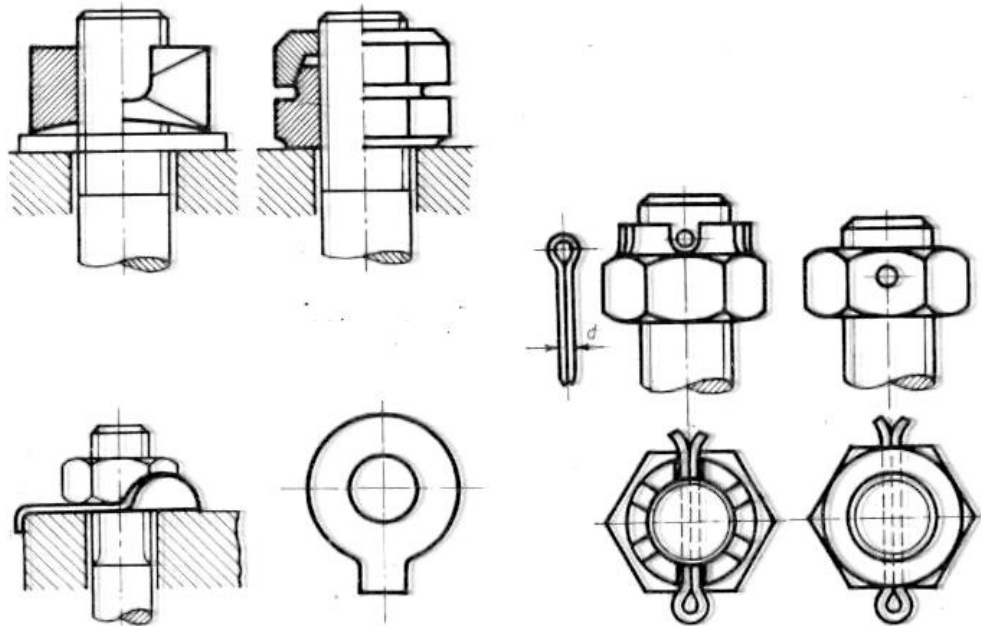
- (a) osiguranje silom
- (b) osiguranje oblikom

Elementi za osiguranje silom – dinamičko opterećenje smanjuje aksijalnu silu u vijku, koja je nastala njegovim pritezanjem. Elementima za osiguranje povećava se aksijalna sila u vijku.



- a) i b) elastične podloške
- c) Ozubljena prstenasta podloška
- d) Prsten od plastike umetnut u maticu
- e) Matica s protumaticom

Elementi za osiguranje vijčanog spoja oblikom – jednostavan način osiguranja

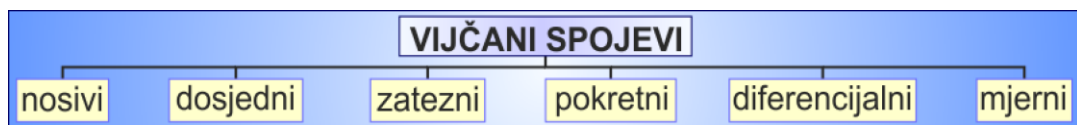


- (a) Samokočne matice  
 (b) Podloška s produžetkom  
 (c) Rascjepka

### 7.2.3 Vrste i primjeri zavrtnja

### 7.2.4 Vrste i primjeri vijčanih spojeva

Prema namjeni razlikuju se:



Nosivi – uzajamno povezivanje strojnih dijelova izloženih različitim opterećenjima.

Dosjedni – centriraju spojene dijelove i dobro podnose smična opterećenja.

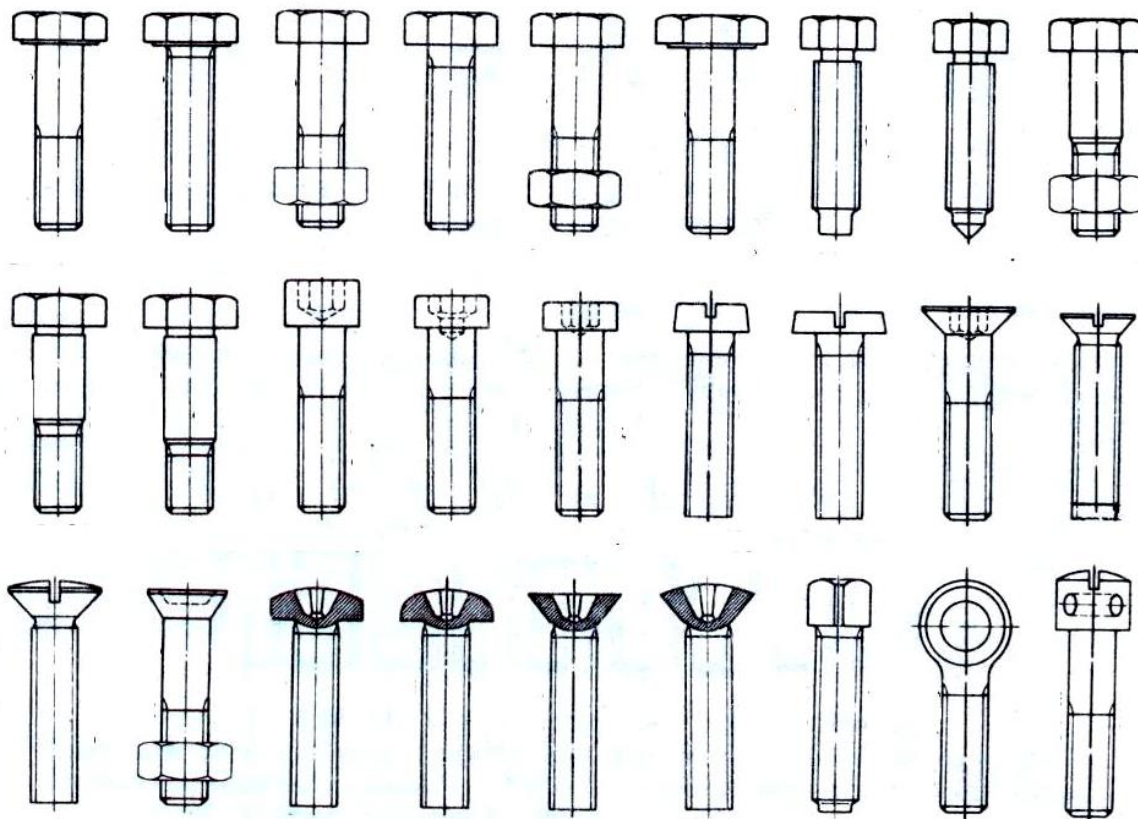
Pokretne – za prijenos i pretvorbu kružnog/pravocrtnog gibanja.

Zatezni – za zatege s jednim ili dva vijka (kod zatega s dva vijka jedan vijak ima lijevi, a drugi desni navoj).

Brtveni – zatvaranje ulaznih i izlaznih otvora posebno oblikovanim dijelovima.

Diferencijalni – podešavanje višedijelnih elemenata i sklopova.

Mjerni – mjerenje dužina kod mikrometara.



### 7.2.5 Osnovna svojstva vijčanih spojeva

## 7.3 Usvajanje vijčanih spojeva

- oblikovanje + primjeri
- proračun + primjeri
- loša i dobra rješenja
- prednosti i nedostaci
- primjeri



### 7.3.1 Zahtjevi vijčanih spojeva

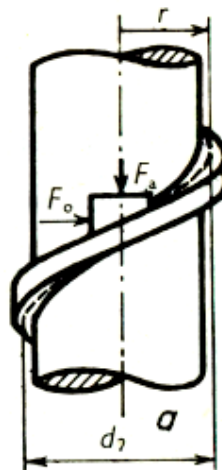
### 7.3.2 Oblikovanje vijčanih spojeva

#### Pogreške u oblikovanju vijčanih spojeva

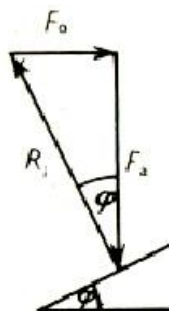
#### Primjeri oblikovanja vijčanih spojeva

### 7.3.3 Proračun vijčanih spojeva

Treba zamisliti gibanje tijela, koje predstavlja maticu, po zavojnici.



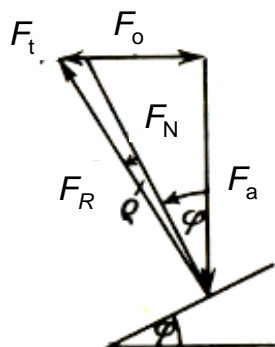
Pri dizanju tijela obodna sila  $F_o$  savladava aksijalnu silu  $F_a$  kojom tijelo pritiska navoj. Bez trenja



$$F_o = F_a \cdot \tan \varphi$$

## Trokut sila pri dizanju uz trenje

## Trokut sila pri dizanju uz trenje



Realni slučaj – postoji trenje između tijela i navoja

Normalna sila

$$F_N = F_a \cos \rho$$

$\rho$ - kut trenja

$\mu$ - koeficijent trenja

Sila trenja

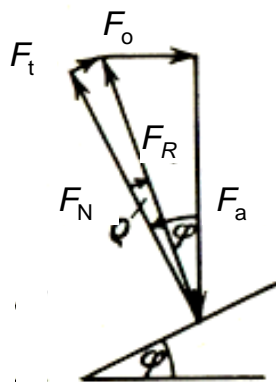
$$F_t = F_a \sin \rho = \mu F_N$$

Koeficijent trenja

$$\mu = \frac{\sin \rho}{\cos \rho} = \tan \rho$$

$$\rho = \arctan \mu$$

## Trokut sila pri spužtanju uz trenje



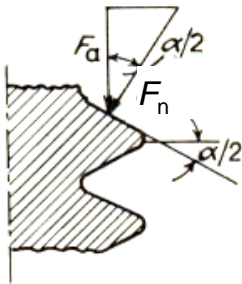
Da međusobno pomicanje vijka i matice ne bi počelo samo od sebe, tj. vijak mora biti **samokočan**, uvjet je da:

$$\varphi < \rho$$

$$F_o = F_a \tan(\varphi + \rho) \quad \text{Za dizanje matice}$$

$$F_o = F_a \tan(\varphi - \rho) \quad \text{Za spužtanje matice}$$

Pojava na vijcima s trokutastim profilom – zbog nagiba navoja, umjesto sa silom  $F_a$  potrebno je računati sa silom  $F_n$ :



$$F_n = F_a \cos \frac{\alpha}{2}$$

Radi toga potrebno je sve izvedene formule koristiti s reduciranim kutom trenja odn. reduciranim koeficijentom trenja:

$$\mu' = \tan \rho' \approx \frac{\tan \rho}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Stupanj iskoristivosti vijka je:

$$\eta = \frac{\text{korisni rad}}{\text{uloženi rad}} = \frac{F_a \cdot P}{F_o \cdot d_2} = \frac{\tan \varphi}{\tan(\varphi + \rho)}$$

Samokočni vijak ima  $\eta \leq 0,5$

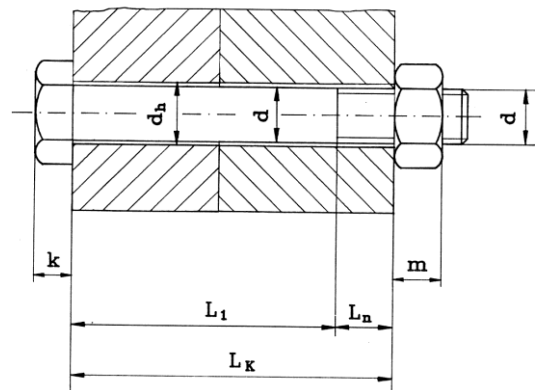
## ODNOS SILA I DEFORMACIJA U PREDNAPREGNUTIM VIJČANIM SPOJEVIMA

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta l}{l}$$

$$\delta = \frac{\Delta l}{F} = \frac{l}{EA}$$

$$c = \frac{1}{\delta} = \frac{EA}{l}$$



$\delta$  - mm/N – podatljivost elementa

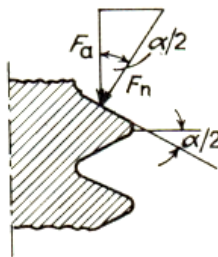
$c$  - N/mm - krutost elementa

$\Delta l$  - mm promjena dužine (+rastezanje, -skraćenje)

$l$  - mm - dužina prije deformacije

$E$  - N/mm<sup>2</sup> - modul elastičnosti materijala

$A$  - mm<sup>2</sup> - površina poprečnog presjeka



$$\tan \varphi = \frac{P}{d \cdot \pi}$$

$$F_n = F_a \cos \frac{\alpha}{2}$$

	$\sigma = E \cdot \varepsilon$ $\frac{F}{A} = E \cdot \frac{\Delta l}{L}$ $\delta = \frac{\Delta l}{F} = \frac{l}{E \cdot A}$ $c = \frac{1}{\delta} = \frac{E \cdot A}{l}$
--	--

Vijci obično po dužini imaju različite presjeka  $A_i$  različitih dužina  $l_i$ , dakle promjenljivu podatljivost  $\delta_{Vi}$ . Prilikom određivanja ukupne podatljivosti vijka  $\delta_V$  mora se, osim podatljivosti tijela vijka uzimati u obzir i podatljivost sudjelujućih dijelova glave vijka  $\delta_G$  i matice  $\delta_M$  koji se uvrće (ili dijela u kojega je vijak uvrnut), koji također podnose opterećenje, te se pri tome elastično deformiraju. Budući da se dijelovi vijka različitih presjeka različito deformiraju, a ukupna deformacija je jednaka zbroju deformacija pojedinih dijelova, podatljivost vijka  $\delta_V$  dobije se iz izraza:

$$\delta_V = \sum \delta_i = \sum \frac{l_i}{E_V A_i} = \frac{1}{E_V} \left( \frac{l_G}{A_N} + \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \dots + \frac{l_3}{A_3} + \frac{l_G}{A_G} + \frac{l_M}{A_N} \right)$$

$\delta_i$  - N/mm - podatljivost pojedinog dijela tijela vijka

$l_i$  - mm - dužine pojedinih dijelova tijela vijka s konstantnim presjekom  $A_i$

$A_i$  - mm<sup>2</sup> - površina pojedinih presjeka tijela vijka dužine  $l_i$

$A_N$  - mm<sup>2</sup> - površina sudjelujućeg presjeka glave vijka i matice

$A_3$  - mm<sup>2</sup> - presjek naprezanja navoja vijka

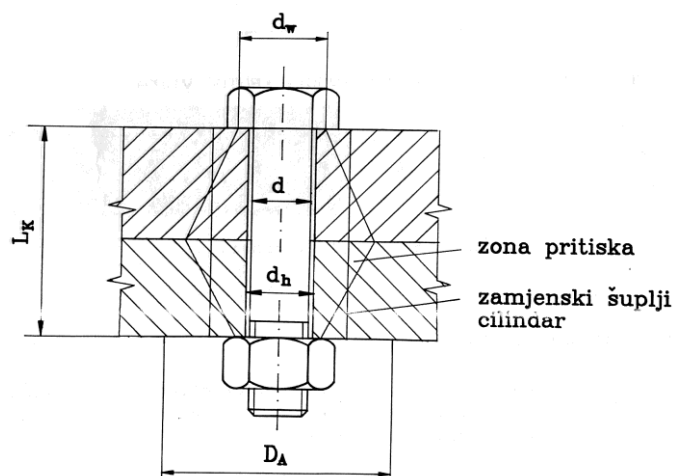
$l_G$  - mm - dužina dijela vijka uvrnutog u maticu;  $l_G \approx 0,5 \cdot d$

$A_G$  - mm<sup>2</sup> - površina jezgre navoja vijka uvrnutog u maticu

$l_M$  - mm - visina sudjelujućeg dijela matice;  $l_M = l_G \approx 0,4 \cdot d$

### Podatljivost / krutost spajanih strojnih dijelova

Teže je odrediti elastičnosti spajanih strojnih dijelova (podloge), s obzirom da se deformira, tj. učestvuje u prenošenju opterećenja, samo dio njihovog volumena koji je približno oblika krnjeg stošca. Radi praktičnijeg izračuna, praksa je da se ovaj volumen aproksimira zamjenskim šupljim cilindrom.



$$\delta_P = \frac{l_K}{A_P E_P}$$

### Neopterećeni prednapregnuti vijčani spoj

Nakon pritezanja vijčanog spoja, spajani dijelovi se skraćuju  $\Delta l_p$ , a istovremeno se vijak rasteže za  $\Delta l_v$ , uslijed reakcijske sile prednapreznja  $F_{pr}$ , kojom podloga djeluje na maticu, a ova preko svog navoja na navoj vijka. Zbog toga aksijalna sila u vijku iznosi  $F_v = F_{pr}$ . Istovremeno su zbog ravnoteže spajani dijelovi međusobno pritisnuti jednakom silom.

Rastezanje vijka pri sili pritezanja iznosi:

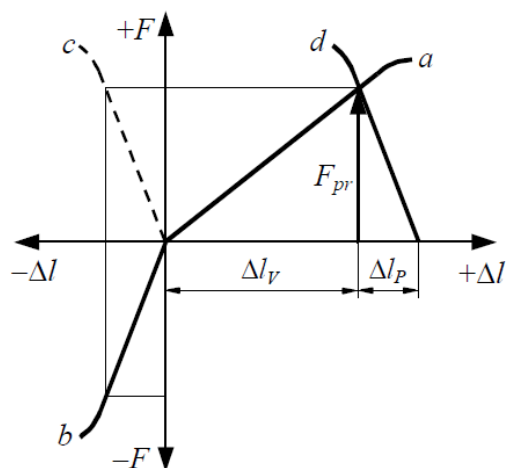
$$\Delta l_v = \frac{F_v}{c_v}$$

A skraćenje podloge pri sili pritezanja:

$$\Delta l_p = \frac{F_v}{c_p}$$

Proces deformacije prednapregnutog vijčanog spoja može se bolje opisati dijagramom deformacije prednapregnutog vijčanog spoja u kojega se ucrtavaju karakteristike vijka (linija *a*) i spajanih dijelova (linija *b*), odnosno omjer između sile *F* i deformacije  $\Delta l$  za pojedini element.

Radi lakšeg daljnjeg razmatranja procesa u prednapregnutom vijčanom spoju, karakteristika podloge se pomiče iz položaja *c* u položaj *d*,



Prednapregnuti vijčani spoj opterećen statičkom aksijalnom radnom silom

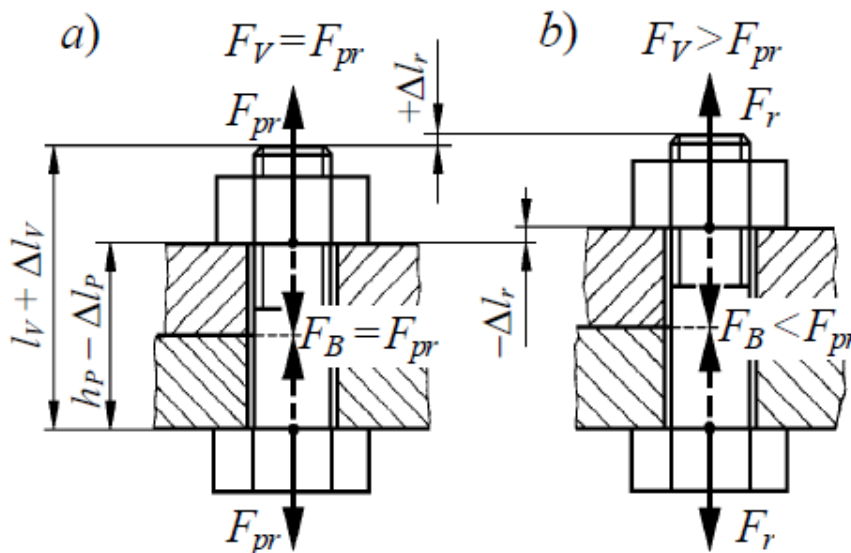
Odnose u prednapregnutom vijčanom spoju, dodatno opterećenom statičkom aksijalnom radnom silom  $F_r$ , najlakše je pojasniti ako se najprije pretpostavi da je hvatište radne sile na vanjskoj površini spajanih strojnih dijelova, što je u praksi vrlo rijetko.

Pod djelovanja statičke *vlačne radne sile*  $F_T$ , vijak je dodatno vlačno opterećenjem zbog čega je sila u vijku  $F_V > F_{pr}$ , a istovremeno se pritezani dijelovi rasterećuju po čitavoj debljini. Radnu silu  $F_T$  vijak ne preuzima u cijelosti, nego se ona dijeli na dodatnu silu u vijku  $F_{rV}$ , koja uzrokuje dodatno rastezanje vijka  $\Delta l_r$ , te na rasterećivanje spajanih dijelova  $F_{rP}$ , koje uzrokuje smanjenje skraćenja za  $\Delta l_r$  i slabljenje sile brtvljenja  $F_B = F_{pr} - F_{rP}$ .

Ukupna sila u vijku tako iznosi:

$$F_V = F_{pr} + F_{rV}.$$

Nakon prestanka djelovanja radnog opterećenja, u vijčanom spoju se opet uspostavlja prvobitno stanje.

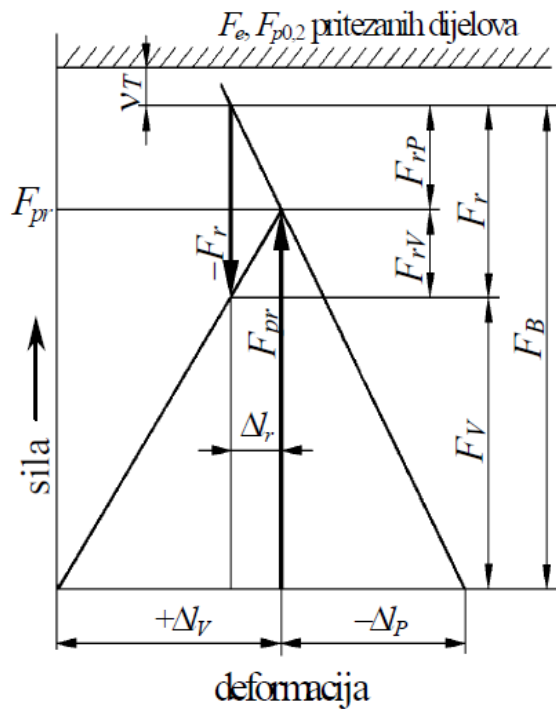


Odnosi u prednapregnutom vijčanom spoju opterećenom statičkom tlačnom radnom silom  $Fr$

a) neopterećeni vijčani spoj s prednaponom

b) dodatno opterećenje tlačnom silom  $-Fr$

## Deformacijski dijagram vijčanog spoja



$$c_V = \frac{F_{pr}}{\Delta l_V} = \frac{F_{rV}}{\Delta l_r}$$

$$c_P = \frac{F_{pr}}{\Delta l_P} = \frac{F_{rP}}{\Delta l_r}$$

$$F_r = F_{rV} + F_{rP}$$

Dodatna sila u vijku je:

$$F_{rV} = F_r \frac{1}{1 + \frac{c_P}{c_V}} = F_r \Phi$$

$F_{rV}$  - N - dodatno aksijalno opterećenje vijka

$F_r$  - N - statično aksijalno radno opterećenje prednapregnutog vijčanog spoja

$c_P$  - N/mm - krutost spajanih strojnih dijelova

$c_V$  - N/mm - krutost vijka

$\Phi$  - omjer sila;  $\Phi = F_{rV} / F_r$

$\Phi = \Phi_F = 1 / (1 + c_P/c_V)$  za hvatište radne sile na vanjskoj površini spajanih dijelova

$\Phi = k_F \cdot \Phi_F$  za hvatište radne sile po unutar spajanih dijelova

Iz gornjih izraza vidi se kako dodatno opterećenje vijka  $F_{rV}$  opada s povećanjem krutosti spajanih dijelova  $c_P$  smanjenjem krutosti vijka  $c_V$ .



$$F_{Vsr} = F_{Vmax} - F_a$$

Najveće opterećenje vijka je:

$$F_{Vmax} = F_{pr} + F_{rVmax}$$

dok je najmanja sila brtvljenja jednaka:

$$F_{Bmin} = F_{Vmax} - F_{r,max}$$

$$F_{Vsr} = F_{Vmax} - F_a$$

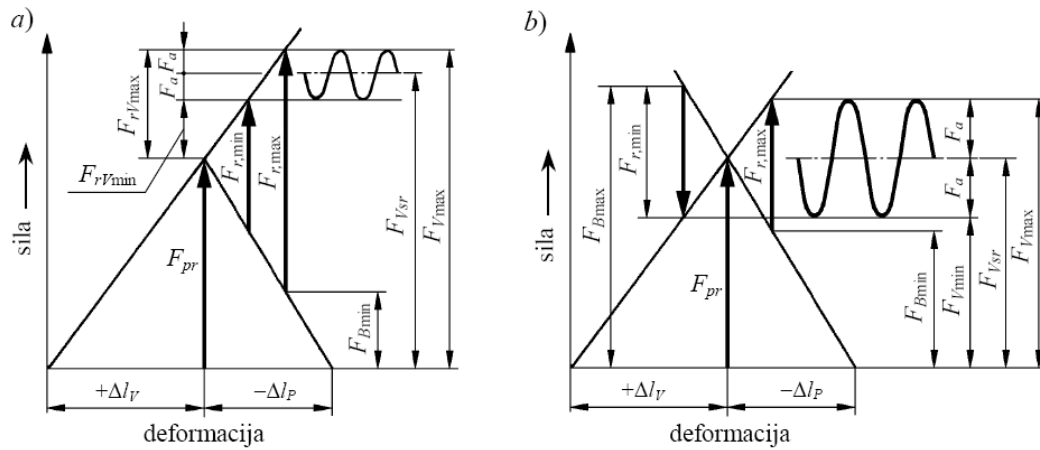
Najveće opterećenje vijka je:

$$F_{Vmax} = F_{pr} + F_{rVmax}$$

dok je najmanja sila brtvljenja jednaka:

$$F_{Bmin} = F_{Vmax} - F_{r,max}$$

### Deformacijski dijagrami dinamički opterećenih prednapregnutih vijčanih spojeva



a) pulzirajuće vlačno opterećenje

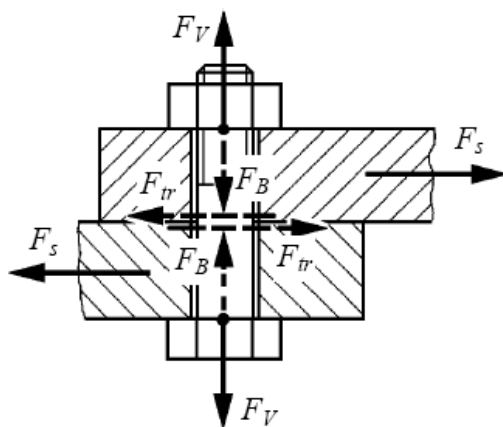
b) naizmjenično promjenjivo opterećenje

### Prednapregnuti vijčani spoj opterećen poprečnom silom

S obzirom da su u prednapregnutim vijčanim spojevima spajani dijelovi međusobno pritisnuti silom brtvljenja  $F_B$ , silom trenja koja se stvara između naliježnih površina može se prenositi statička ili dinamička poprečna sila  $F_s$ . Ako prednapregnuti vijčani spoj prenosi samo poprečnu silu, tada je sila brtvljenja (normalna sila) jednaka sili prednaprezanja  $F_B = F_V$ .

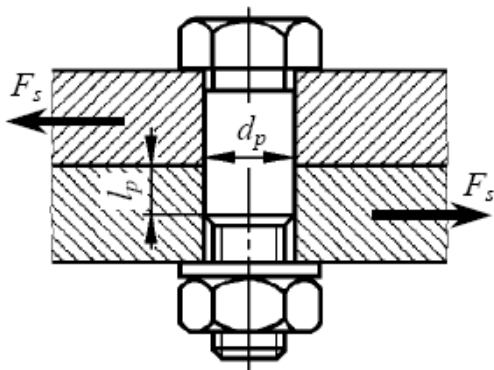
Sila trenja mora uvijek ispunjavati uvjet:

$$F_{tr} = F_B \frac{n \mu}{v_K} \geq F_s$$



- $F_{tr}$  – N - sila trenja među površinama spajanih dijelova
- $F_B$  – N - normalna sila brtvljenja
- $n$  - broj tarnih površina
- $\mu$  - koeficijent trenja među površinama spajanih dijelova
- $F_s$  - N - poprečna sila
- $v_K$  - sigurnost protiv proklizavanja:
- $v_K \approx 1,3$  za statičko opterećenje
- $v_K \approx 1,5$  za dinamičko opterećenje

### Vijčani spojevi s dosjednim vijkom



Smično naprezanje u dosjednom vijku mora zadovoljiti uvjet:

$$\tau_s = \frac{F_s}{m A_p} = \frac{4 F_s}{m \pi d_p^2} \leq \tau_{s,dop}$$

- $\tau_s$  - N/mm<sup>2</sup> - naprezanje vijka na smik
- $F_s$  - N - poprečna sila
- $m$  - broj ravnina smicanja vijka
- $A_p$  - mm<sup>2</sup> - presjek dosjednog dijela vijka
- $d_p$  - mm - promjer dosjednog dijela vijka
- $\tau_{s,dop}$  - N/mm<sup>2</sup> - dopušteno naprezanje vijka na smik
- $\tau_{s,dop} \approx 0,6 \cdot R_e$  kod statičkog opterećenja
- $\tau_{s,dop} \approx 0,5 \cdot R_e$  kod istosmjernog dinamičkog opterećenja
- $\tau_{s,dop} \approx 0,4 \cdot R_e$  kod izmjeničnog dinamičkog opterećenja

Površinski pritisak između dosjednog vijka i spajanih strojnih dijelova kontrolira se pomoću izraza:

$$\rho = \frac{F_s}{A_{proj}} = \frac{F_s}{d_p l_p} \leq \rho_{dop}$$

- $\rho$  - N/mm<sup>2</sup> - površinski pritisak između dosjednog vijka i spajanih strojnih dijelova
- $F_s$  - N - opterećenje vijka na smik
- $A_{proj}$  - mm<sup>2</sup> - normalna projekcija površine dodira,
- $d_p$  - mm - promjer dosjednog dijela vijka
- $l_p$  - mm - najkraća dodirna dužina dosjednog dijela vijka i strojnih dijelova
- $\rho_{dop}$  - N/mm<sup>2</sup> - dopušteni površinski pritisak spajanih strojnih dijelova

- $\rho_{dop} = 1,2 \cdot R_e$  ili  $0,75 \cdot R_m$  pri statičkom opterećenju
- $\rho_{dop} = 0,9 \cdot R_e$  ili  $0,60 \cdot R_m$  pri dinamičkom opterećenju
- $R_e$  - N/mm<sup>2</sup> - granica tečenja materijala vijka ili strojnih dijelova
- $R_m$  - N/mm<sup>2</sup> - vlačna čvrstoća materijala vijka ili strojnih dijelova

### 7.3.4 Primjeri usvajanja vijčanih spojeva

### 7.3.5 Norme vijčanih spojeva

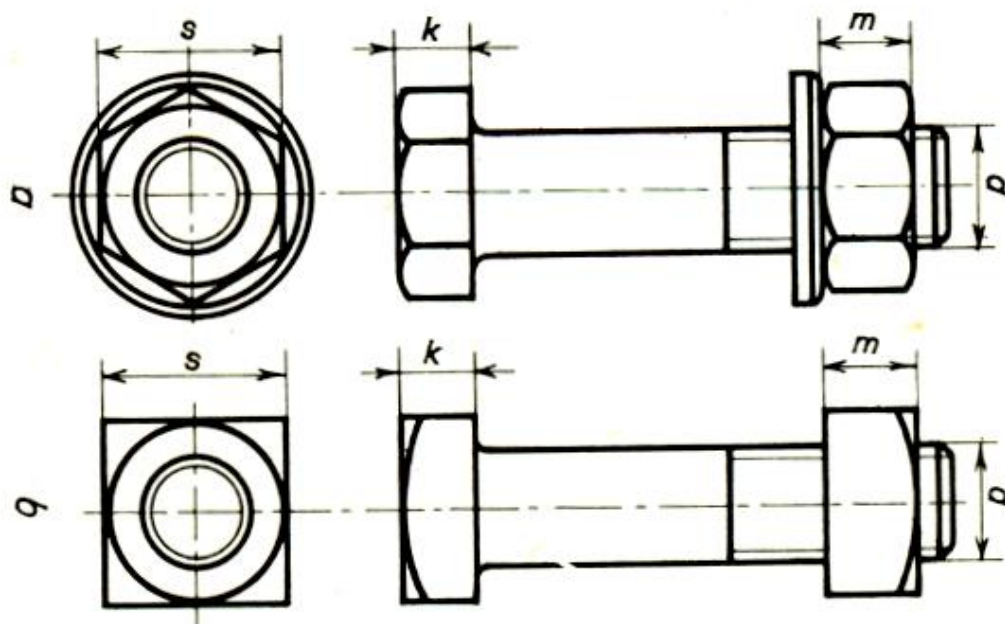
### 7.3.6 Kontrolni proračun vijčanih spojeva

## 7.4 Primjena vijčanih spojeva

### 7.4.1 Izrada elemenata vijčanih spojeva

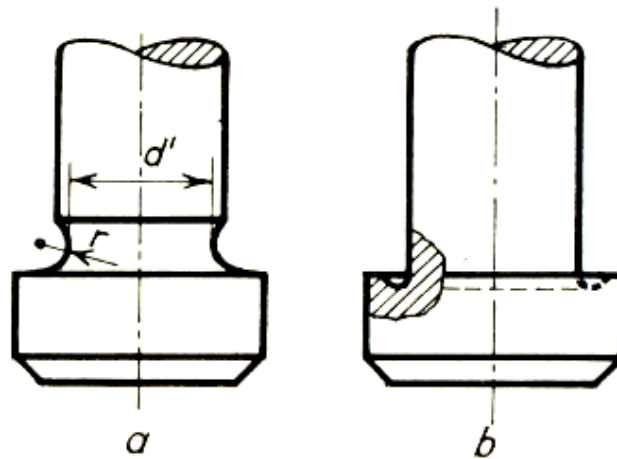
Vijci i matice se izrađuju sa:

- šesterokutnim glavama,
- četverokutnim glavama.



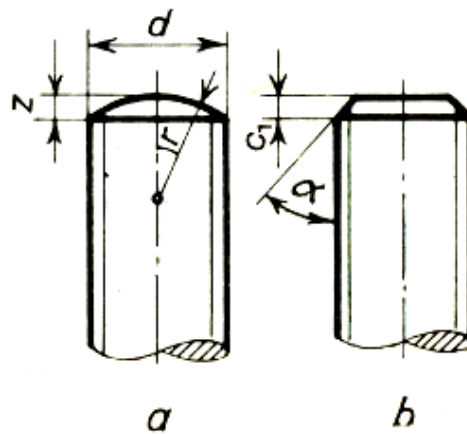
Utori za rasterećenje:

- (c) na svornjaku
- (d) na glavi vijka

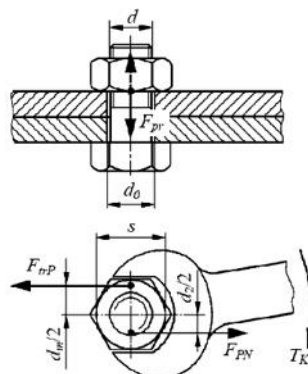


Oblici završetaka vijaka:

- (a) zaobljeni
- (b) stožasti



### 7.4.2 Montaža i demontaža vijčanih spojeva



$$T_K = F_{pr} \left[ \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\phi + \rho') + \mu_p \cdot \frac{s + d_0}{4} \right]$$

$T_K$  – Nmm - potreban moment pritezanja vijčanog spoja (moment ključa)

$F_{pr}$  – N - sila prednaprezanja u vijku

$\mu_p$  - koeficijent trenja između glave vijka ili matice i podloge

$d_m$  – mm - srednji promjer naliježne površine glave vijka ili matice na podlogu

$d_m \approx (s + d_0) / 4$  ; kod šesterokutnih ili cilindričnih glava  $d_m \approx 0,65 \cdot d$

$d_0$  – mm - promjer rupe u kojoj je vijak

$s$  - otvor ključa kod šesterokutnih i četverokutnih vijaka

$d$  – mm - nominalni promjer navoja.

### ***7.4.3 Režimi rada i vijek trajanja vijčanih spojeva***

### ***7.4.4 Održavanje vijčanih spojeva***

### ***7.4.5 Odlaganje vijčanih spojeva***

### ***7.4.6 Pogreške u primjeni vijčanih spojeva***

## Dodatak

### Literatura

Böge2011/162÷85, Bickford 2007, Bickford1998, Brown2005/339÷366, Budynas2011/409÷473, Childs2004/266÷274, Decker1987/82÷102, DIN2008/503÷571, Elčić1973/105÷176, Fleischer2009, Grote2007/443÷455, Grote2009/626, Haberhauer2011/171÷208, Hering2004/380÷389, Jelaska2005/73÷87, Klebanov2008/277÷319, Kraut1988/263÷276,286÷287, Kulak1987, Künne12008/282÷344, Lingaiah2004/510÷585, Marghita2001/243÷252, Messler2004/118÷134, Mott2004/728÷744, Muhs2006/77÷105, Muhs2007/44÷55,185÷194,272÷280, Niemann2005/410÷487, Norton2006/832÷897, Oberg2009/1426÷1849, Pandžić2008/55÷66, Podhorsky1963÷1997/5-228÷5-238, Podrug2008/21÷29, Shigley2004/671÷748, Spotts1961/101÷115, Steinhilper12008/276÷387, Timings2000/85÷179, Timings2005/123÷287, Vitas1990/66÷154, Wittel2009/236÷392.

##

**D** Oberg27/1495 (vijci za drvo), 1473÷1586 (skice, formule, ANSI/ASME/BS norme – opsežne detaljne tablice, anglosaksonske jedinice), 1721÷1982 (navoji),  
**E** Oberg28/1382÷1849 (skice, formule, ANSI/ASME/BS norme – opsežne detaljne tablice, anglosaksonske jedinice),  
**B** Parmley/11-1÷11-20, 16-1÷16-19 (primjeri konstrukcijskih rješenja),  
**D** Avallone/644÷664 (ANSI/ASME norme – tablice, anglosaksonske jedinice),  
**B** Böge20/162÷185 (skice, detaljan proračun s primjerima, DIN/ISO norme – nekoliko tablica),  
**B** Brown/339÷366 (detaljan proračun s primjerima),  
**A** Budynas/402-463, (skice, ANSI/ASTM norme – nekoliko tablica, SI jedinice, detaljan proračun s primjerima i zadacima – dio rješenja),  
**B** Carvill/19÷23 (proračun), 304÷308 (pregled – skice), 310÷313 ISO (tablica),  
**A** Childs/266÷273 (osnove, proračun, primjeri) 287÷289 (literatura, norme, WEB, oznake),  
**A** Decker/82÷102 (norme, skice, tablice, oblikovanje, proračun),  
**A** DIN/503÷555, 575÷ (norme, skice, tablice),  
**A** Fleicher (primjeri proračuna),  
**B** GroteDubbel/443÷455 (osnove, skice, konstrukcijska rješenja, proračun), 576÷577 (tablice), 590÷591 (literatura),  
**AA** Haberhauer15/182÷227, **AA** Haberhauer16/171÷216, 640÷641 (literatura),  
**A** Hering/380÷389 (kratko: skice, tablice, proračun),  
**C** Hicks/428÷432 (primjer proračuna),  
**AA** Jelaska/73÷87  
**B** Klebanov/277÷319 (zanimljivi detalji),  
**B** Kraut/263÷276 (navoji, norme – skice i tablice), 286÷287 (vijci i matice, norme – skice i tablice)  
**AA** Künne/282÷344,  
**B** Kutz/818÷819 (zanimljivost – elektronska oprema),  
**AA** Lingaiah/510÷585 (oznake, formule, norme – skice, tablice),  
**AA** Messler/45÷106 (vijčani spojevi, osnove, prednosti i nedostaci, pitanja), 118÷134 + 173÷176 (navoji, vijci i matice, pitanja),  
**AA** Mott/727÷744 (osnove, WEB, pitanja),  
**AA** Muhs/Aufgabesammlung/44÷55 (zadaci), 185÷194 (postavke rješenja), 272÷280 (rješenja),  
**AA** Muhs/Formelsammlung/77÷105 (oznake, formule, tijek proračuna, popis DIN EN ISO normi),  
**AA** Niemann/410÷487,  
**AA** Norton/832÷897,  
**A** Podrug/21-29 (sazete osnove i formule),  
**AA** Shigley3/671÷748, Shigley2/21.1÷21.38, 23.1÷23.39  
**A** Smith/309÷318 (zanimljivo – proizvođači)  
**A** Smith-Maintenance/211,216,234, 240÷244 (zanimljivo – problemi, montaža)  
**A** Spotts/101÷115 (osnove, primjeri, problemi, zadaci – dio s rezultatom)  
**AA** Steinhilper/274÷387,  
**A** Timings-Pocket/123÷287 (skice/tablice),

A Timings-Workshop/87÷179 (skice/tablice),

AA Vitas1/66÷154,

AA Wittel/236÷292,

## *Dodaci*

- Dimenzije poluokruglih zakovica čeličnih konstrukcija DIN 124 Decker/62
- Dimenzije poluokruglih zakovica DIN 660 i zkovica za upuštanje DIN 661 Decker/73
- Razmaci zakovica čeličnih konstrukcija Decker/66
- Pozicije i dopušteni promjeri provrta za normirane profile Decker/66
- Dopuštena naprezanja zakovica čeličnih konstrukcija Decker/66
- Aluminijske legure za zakovice DIN 4113 Decker/70
- Dopuštena naprezanja zakovica konstrukcija od lakih materijala Decker/71
- Dopuštena naprezanja zakovičnih spojeva strojarskih elemenata Decker/71
- Izbor steznih spojeva DIN 7154 i DIN 7155 Decker/71

## *Internet*

Childs2004/288, Mott2004/743÷744, Wittel2009/392, Bickford 2007/530÷531,

<http://www.div.com.hr>

[www.apexfasteners.com](http://www.apexfasteners.com)

[www.fabory.com](http://www.fabory.com)

[www.fastenertechnology.com](http://www.fastenertechnology.com)

[www.libertyfastener.com](http://www.libertyfastener.com)

[www.nutsandbolts.net](http://www.nutsandbolts.net)

[www.rotaloc.com](http://www.rotaloc.com)

[www.seac.uk.com](http://www.seac.uk.com)

[www.sinofastener.com](http://www.sinofastener.com)

[www.skybolt.com](http://www.skybolt.com)

[www.watai.com](http://www.watai.com)

[www.yerd.com.hk](http://www.yerd.com.hk)

<http://www.wlw.de>

<http://www.lederer-online.com>

## *Norme*

Künne12008/282÷284, Muhs2006/93÷105, Niemann2005/483÷487, Steinhilper12008/378÷387,

EN 24032/3/5. *ISO metric hexagon bolts, screws and nuts.*

EN ISO 2009. *Slotted head bolts.*

EN ISO 7046-1. *Recessed head set screws.*



## Oznake

Carvill2003/299÷300, Haberhauer2011/637, Shigley1996/A.2,  
Childs2004/288, Künne12008/284÷285, Lingaiah2004/510÷512, Muhs2006/77÷79, Niemann2005/410÷411, Shigley2004/671÷674,  
Bickford 2007/514÷520,

$A$	–	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, $\mu\Omega\cdot\text{cm}$



## Podloge

## Razno

IZ: NERASTAVLJIVI SPOJEVI !!!

## 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);

## 4. Zadatak – **04 Nerastavljivi spojevi: (50 bodova)**

- (a) Izraditi prezentaciju odabrane teme iz nerastavljivih spojeva (20 bodova);
- (b) Usvojiti zalijepljeni spoj (10 bodova);
- (c) Usvojiti zakovični spoj (20 bodova).

### 4. Zadatak – (a) Prezentacija (20 bodova)

Izraditi prezentaciju odabrane teme iz nerastavljivih spojeva.

### 4. Zadatak – (b) Zalijepljeni spoj (10 bodova)

Usvojiti zalijepljeni spoj.

### 4. Zadatak – (c) Zakovični spoj (20 bodova)

Usvojiti zakovični spoj.

#### 4. Zadatak – (a) *Prezentacija* (20 bodova)

Izraditi prezentaciju odabrane teme iz nerastavljivih spojeva.

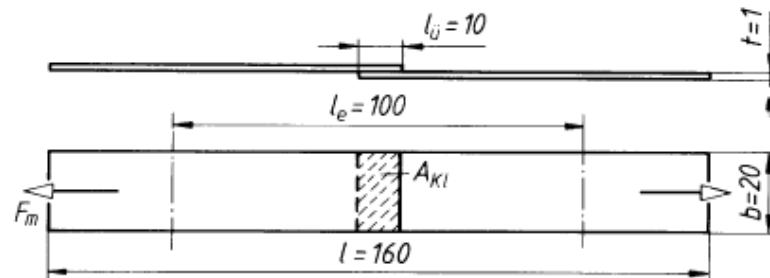
Napomena: Naslov teme može biti jednak ili uži od sljedećih naslova tema:

##### *Teme*

6. Spajanje
7. Vrste spojeva
8. Vrste nerastavljivih spojeva
9. Dinamička opterećenja
10. Osnove zalijepljenih spojeva
11. Materijali za lijepljenje
12. Oblikovanje zalijepljenih spojeva
13. Proračun zalijepljenih spojeva
14. Tehnologija spajanja lijepljenjem
15. Lijepljenje keramika i metala
16. Lijepljenje polimernih materijala i kompozita
17. Osnove zakovičnih spojeva
18. Vrste spojeva sa zakovicama
19. Oblikovanje zakovičnih spojeva
20. Proračun spojeva sa zakovicama
21. Tehnologija spajanja sa zakovicama
22. Spajanje pop zakovicama
23. Osnove nerastavljivih steznih spojeva
24. Oblikovanje nerastavljivih steznih spojeva
25. Proračun nerastavljivih steznih spojeva
26. Tehnologija spajanja nerastavljivim steznim spojevima
27. Osnove nerastavljivih oblikovnih spojeva
28. Oblikovanje nerastavljivih oblikovnih spojeva
29. Proračun nerastavljivih oblikovnih spojeva
30. Tehnologija spajanja nerastavljivim oblikovnim spojevima

#### 4. Zadatak – (b) Zalijepljeni spoj (20 bodova)

Zadatak **Z-04.01** Za ispitivanje čvrstoće zalijepljenog spoja s reakcijskim ljepilom X pripremljena je epruveta. [Wittel (2007), str. 13/153/230]



Pravac opterećivanja epruvete prikazan je na slici.

Provedbom pokusa utvrđeno je opterećenje pri lomu  $F_m = 5200$  N.

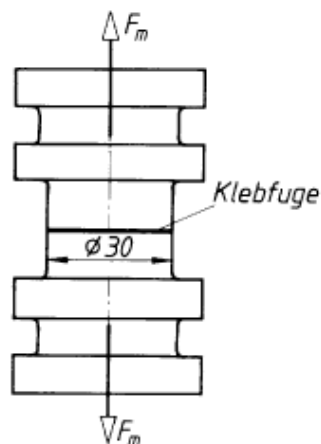
**Odrediti:**

Kolika je čvrstoća zalijepljenog spoja ( $\tau_{zs}$ ) s reakcijskim ljepilom X?

**Rješenje:**

$$\tau_{zs} = 26 \text{ N/mm}^2 \quad (A_{KB} = 200 \text{ mm}^2)$$

Zadatak **Z-04.02** Za ispitivanje čvrstoće zalijepljenog spoja pripremljena je epruveta. [Wittel (2007), str. 13/153/230]



Pravac opterećivanja epruvete prikazan je na slici.

Provedbom pokusa utvrđeno je opterećenje pri lomu  $F_m = 36,8$  kN.

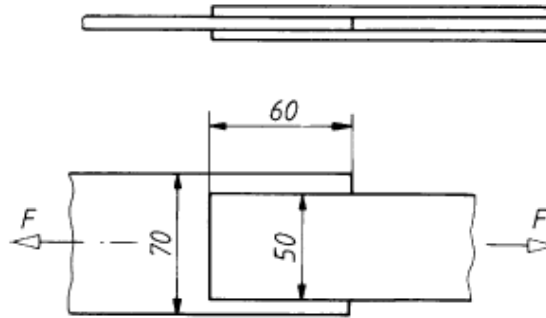
**Odrediti:**

Kolika je provedbom pokusa dobivena čvrstoća zalijepljenog spoja ( $\sigma_{zs}$ )?

**Rješenje:**

$$\sigma_{zs} = 36,8 \text{ N/mm}^2 \quad (A_{KB} = 707 \text{ mm}^2)$$

Zadatak **Z-04.03** Na jednom kraju trake dimenzija  $70 \times 10 \text{ mm}$  zalijepljene su s preklopom dvije trake dimenzija  $50 \times 6 \text{ mm}$ . Za lijepljenje se koristi lijepilo X. Radno opterećenje je vlačno statičko od  $F = 15 \text{ kN}$ . [Wittel (2007), str. 14/153/230]



Čvrstoća je materijala traka  $R_m = 440 \text{ N/mm}^2$ .

Pokusom opisanim na slici uz **Z-04.01** dobivena je čvrstoća zalijepljenog spoja  $\tau_{zs} = 440 \text{ N/mm}^2$ . (podaci proizvođača)

Čvrstoća zalijepljenog spoja se na svakih 10 mm povećanja duljine prijeklopa smanji u prosjeku za 8 %.

#### Odrediti:

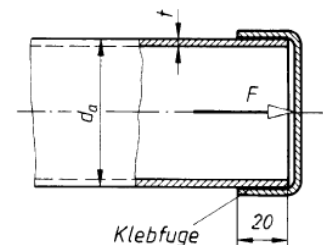
- Faktor sigurnosti  $S_1$  s preklopom zalijepljenih traka.
- Faktore sigurnosti  $S_1$  zalijepljenog spoja s  $\tau_{zs(60)}$  pri  $L_p = 60 \text{ mm}$ .

#### Rješenje:

- $S_1 = 17,6$ .
- $S_2 = 10,4$ .

Wittel (2007), str. 14/153/230.

- 5.6** Das Ende eines Wasserrohres aus Polyvinylchlorid (PVC) von  $d_a = 63 \text{ mm}$  Außendurchmesser und  $t = 3 \text{ mm}$  Wanddicke wird mit einer geklebten Kappe verschlossen. Es ist zu prüfen, ob die Klebverbindung bei einem höchsten Wasserdruck  $p = 4 \text{ bar}$  sicher hält, wenn die Bindefestigkeit des Klebers bei 20 mm Überlappungslänge  $\tau_{KB} = 8 \text{ N/mm}^2$  beträgt.

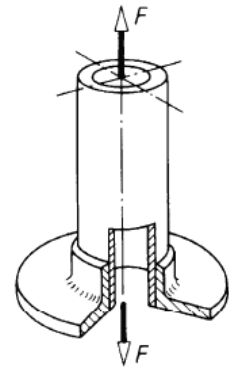


Wittel (2007), str. 14/153/230.



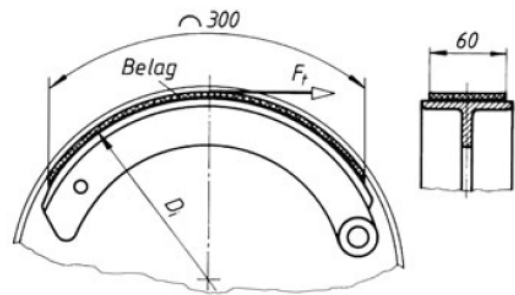
- 5.7 •• Eine Rohrleitung  $50 \times 2$  aus ENAW-ALMg3-H14 wird durch einen geklebten Flansch abgeschlossen. Der Kleber weist eine Bindefestigkeit  $\tau_{KB} = 20 \text{ N/mm}^2$  auf. Rohr und Klebverbindung müssen eine 2-fache Sicherheit gegen Bruch aufweisen.

Wie groß ist die zulässige statische Zugkraft  $F$  für das Rohr und welche Überlappungslänge  $l_{\ddot{u}}$  muss für die Steckverbindung ausgeführt werden?



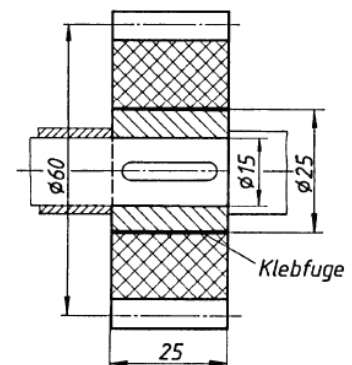
Wittel (2007), str. 15/153/231.

- 5.8 •• Der Bremsstrommel-Innendurchmesser eines Lastkraftwagens beträgt  $D_i = 280 \text{ mm}$ . Die auf die Bremsbacken aufgeklebten Beläge haben  $60 \text{ mm}$  Breite und  $300 \text{ mm}$  Länge. Im ungünstigsten Fall kann damit gerechnet werden, dass ein einziger Belagstreifen durch eingedrungenes Wasser an der Trommel anfriert und das größte Rad-Drehmoment  $T \approx 3,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$  von der Klebverbindung zu übertragen ist. Es ist zu prüfen, ob für die Klebverbindung Bruchgefahr besteht, wenn für den vorgesehenen Kleber die Bindefestigkeit  $\tau_{KB} = 15 \text{ N/mm}^2$  beträgt.



Wittel (2007), str. 15/153/231.

- 5.9 • Ein Schaltritzel mit Modul  $m = 3 \text{ mm}$  und einer Zähnezahl  $z = 20$  hat die größte Leistung  $P = 0,12 \text{ kW}$  bei einer Drehzahl  $n = 160 \text{ min}^{-1}$  zu übertragen. Da die Drehrichtung ständig umkehrt und das Ritzel möglichst geräuscharm und elastisch arbeiten soll, ist der Zahnkranz aus Polyamid mit einer Nabe aus Stahl verklebt. Wie groß ist die gegen Dauerbruch vorhandene Sicherheit  $S$  der Klebverbindung, wenn nach Angaben des Herstellers für den Klebstoff mit der *statischen* Bindefestigkeit  $\tau_{KB} \approx 12 \text{ N/mm}^2$  die *dynamische* Bindefestigkeit sich ergibt aus  $\tau_{KW} \approx 0,3 \cdot \tau_{KB}$ ? Auftretende Stöße sind durch  $K_A = 1,5$  zu berücksichtigen.

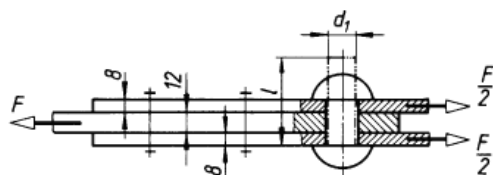


#### 4. Zadatak – (c) Zakovični spoj (20 bodova)

Usvojiti zakovični spoj.

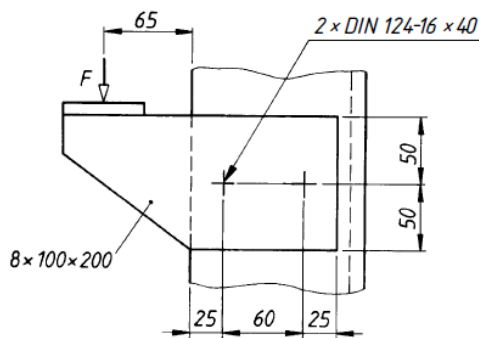
Wittel (2007), str. 31/162/246.

- 7.1 Für die Nietverbindung (Stahlbau) sind bei einem Bauteilwerkstoff S235 zu bestimmen bzw. anzugeben:
- der günstige Rohnietdurchmesser  $d_1$  und die Rohnietlänge  $l$  bei einem Halbrundkopf als Schließkopf (Maschinennietung), wobei eine genormte Nietlänge festzulegen ist;
  - die vollständige, normgerechte Bezeichnung des Nietes bei Bestellung;
  - die übertragbare zulässige Kraft  $F$  der Verbindung bei 3 Nieten und für die größtmögliche Beanspruchung auf Lochleibung ausreichenden Rand- und Lochabständen.

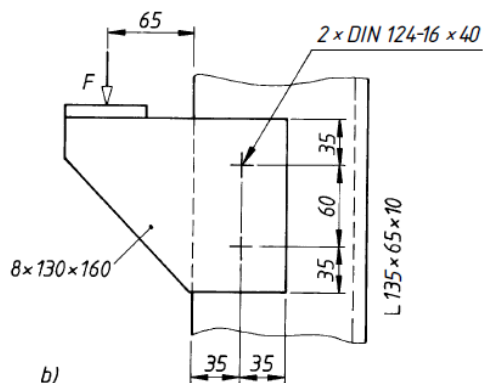


Wittel (2007), str. 37/162/248.

- 7.5 Für das an den breiten Schenkel eines  $L135 \times 65 \times 10$  anzuschließende und mit  $F = 12 \text{ kN}$  (Stahlbau) belastete  $8 \text{ mm}$  dicke Konsolblech aus S235 stehen die beiden den Bildern a und b entsprechenden Nietanordnungen zur Auswahl. Der beanspruchungsmäßig günstigere Nietanschluss ist zu ermitteln und festigkeitsmäßig nachzuprüfen.



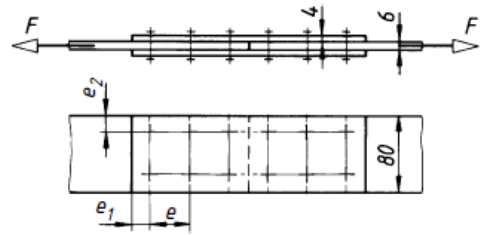
a)



b)

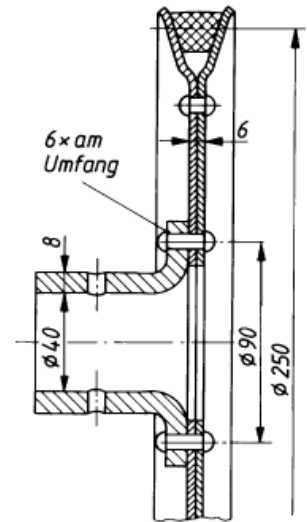
Wittel (2007), str. 34/163/251.

- 7.8 In einer Leichtmetallkonstruktion sollen zwei Zugbänder  $\square 80 \times 6$  aus ENAW-6082T5 durch Doppellaschennietung verbunden werden. Die vorwiegend ruhend wirkende Zugkraft beträgt  $F_H = 32 \text{ kN}$  im Lastfall H und  $F_{H_S} = 22 \text{ kN}$  im Lastfall H<sub>S</sub>. Als Nietwerkstoff wird AlMgSi1F25 gewählt. Die Nietverbindung ist zu bemessen und im Maßstab 1:2 zu entwerfen. Hinweis: Die Anzahl der eingezeichneten Niete braucht nicht mit der berechneten übereinzustimmen.



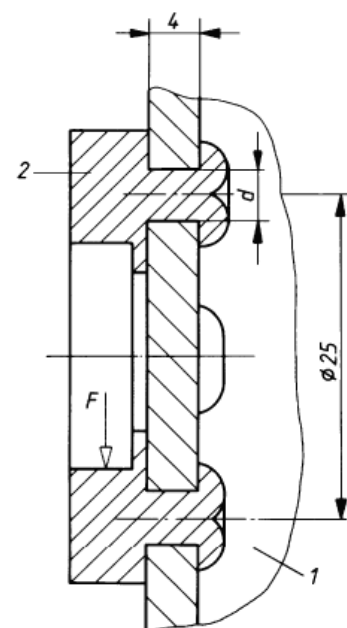
Wittel (2007), str. 37/164/253.

- 7.12 Zur Herstellung einer Keilriemenscheibe aus Aluminium, die eine Leistung  $P = 4 \text{ kW}$  bei der Drehzahl  $n = 450 \text{ min}^{-1}$  stoßfrei zu übertragen hat, wird die Nabe aus ENAC - 51 300 K ( $\sigma_{1 \text{ zul}} = 54 \text{ N/mm}^2$ ) mit der aus zwei gepressten Blechen aus ENAW - 5049 H111 gefertigten Scheibe durch 6 Niete DIN 660 - 6 x 25 - AlMg5W27 verbunden. Die Nietverbindung soll unter Berücksichtigung der Wellenkraft  $F_W$  nachgeprüft werden ( $F_W \approx 1,5 \cdot F_t$ ), wobei wegen etwaiger dynamischer Lastanteile die nach DIN 4113 im Lastfall H geltenden zulässigen Spannungen um 25 % herabzusetzen sind.



Wittel (2007), str. 38/164/254.

- 7.16 Bei einer Konstruktion aus Polyamid (PA 66) werden Gehäuse (1) und Lagerschild (2) durch Spritzgießen getrennt hergestellt. Das Lager mit vier angegossenen Nietschäften soll dann mit dem Gehäuse durch Ultraschallnieten verbunden werden. Welcher Nietdurchmesser  $d$  ist erforderlich, wenn unter Berücksichtigung der ungünstigsten Betriebsbedingungen die radiale Lagerkraft  $F = 300 \text{ N}$  beträgt?





## Literatura

1. Androić B., Dujmović D., Džeba I.: Metalne konstrukcije 1 – Eurocode; Institut građevinarstva Hrvatske, 1994.
2. Böge A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
3. Böge A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage; Vieweg, 2007.
4. Bickford J. H.: Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints – Non-Gasketed Joints, 4<sup>th</sup> Edition; CRC, 2007.
5. Brown T. H. Jr.: Mark's Calculations For Machine Design; McGraw-Hill, 2005.
6. Budynas R. G., Nisbett J. K.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 9<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2011.
7. Carvill J.: Mechanical Engineer's Data Handbook; Butterworth-Heinemann, 2003.
8. Childs P.: Mechanical Design, 2<sup>nd</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
9. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 2. izdanje; Tehnička knjiga, 1987.
10. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 3. izdanje; Golden marketing - Tehnička knjiga, 2006.
11. DIN – Deutsches Institut für Normung: Klein Einführung in die DIN-Normen, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
12. Elčić Z., Grubješić N., Kostelić A., Madarević B., Oberšmit E., Račić V., Sentič B., Skalicky B., Vojta D.: Praktičar 3 – Strojarstvo 2; Školska knjiga, 1973.
13. Fleischer B., Theumert H.: Entwickeln Konstruieren Berechnen – Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
14. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
15. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
16. Hall A. S. Holowenko A. R., Laughlin H. G.: Schaum's Outline of Theory and Problems of Machine Design; McGraw-Hill, 1968.
17. Haberhauer - Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
18. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.
19. Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
20. Klebanov B. M., Barlam D. M., Nystrom F. E.: Machine Elements – Life and Design; CRC Taylor & Francis Group, 2008.
21. Kraut B.: Strojarški priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.
22. Kulak G. L., Fisher J. W., Struik J. H. A.: Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, 2nd Edition; Wiley-Interscience, 1987.
23. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
24. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook, 2nd Edition; Wiley, 1998.
25. Lingaiah K.: Machine Design Databook, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill, 2002.
26. Marghitu D. B.: Mechanical Engineer's Handbook; Academic Press, 2001.
27. Messler R. W.: Integral Mechanical Attachment – A Resurgence of the Oldest Method of Joining; Butterworth-Heinemann, 2006.
28. Messler R. W.: Joining of Materials and Structures From Pragmatic Process to Enabling Technology; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
29. Mott R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, 4<sup>th</sup> Edition; Prentice Hall, 2004.
30. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Becker M., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Interaktive Formelsammlung auf CD-ROM, 8. Auflage; Vieweg, 2006.
31. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Aufgabensammlung – Aufgaben, Lösungshinweise, Ergebnisse, 14. Auflage; Vieweg, 2007.

32. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
33. Norton R. L.: Machine Design – An Integrated Approach, 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 2006.
34. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 27<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2004.
35. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 28<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2008.
36. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
37. Parmley R. O.: Machine Devices and Components Illustrated Sourcebook; McGraw-Hill, 2005.
38. Podrug S.: Elementi strojeva – predavanja za stručni i preddiplomski studij brodogradnje; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2008.
39. Podhorsky R.: Tehnička enciklopedija, svske 1÷13; Leksikografski zavod, 1963÷1997.
40. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 1996.
41. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 3<sup>rd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 2004.
42. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
43. Smith R., Mobley R. K.: Industrial Machinery Repair - Best Maintenance Practices Pocket Guide; Butterworth-Heinemann, 2003.
44. Spotts M. F.: Design of Machine Elements; 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 1961.
45. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen, 7. Auflage; Springer, 2008.
46. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
47. Timings R.: Newnes Workshop Engineer's Pocket Book; Newnes, 2000.
48. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi I, 10. izdanje; Naucna knjiga, 1990.
49. Whitney D. E.: Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development; Oxford University Press, 2004.
50. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Lehrbuch und Tabellenbuch – Normung, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.