

ЗАВРТЊЕВИ

1. Завртњеви (врсте, облик и димензије, подела према тачности израде, метрички навој)

Средства за везе:

1. техничка спојна средства:
 - закивци
 - завртњеви
 - чепови
2. технолошки поступци спајања
 - заваривање
 - лепљење

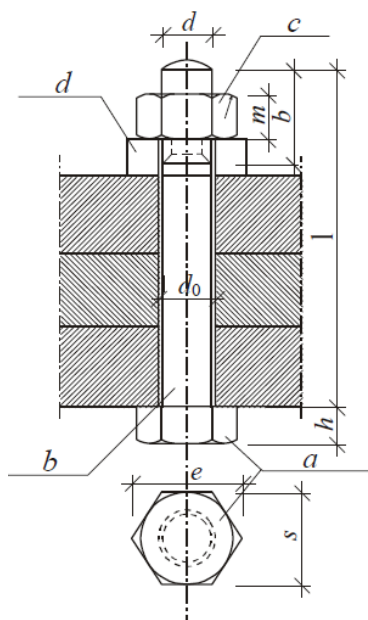
Завртњевима се остварује тачкасто спајање елемената конструкције. Кроз два или више елемената који се спајају буше се рупе, постављају завртњеви и навија се навртка све док се елементи међусобно не споје.

У завртњевима може да се јави смицање, притисак по омотачу рупе или затезање.

Врсте:

- према квалитету материјала од кога се изводе:
 - обични завртњеви
 - високовредни завртњеви
 - преднапрегнути
 - непреднапрегнути
- према зазору између завртња и рупе:
 - необрађени (неупасовани) завртњеви $\Delta d \geq 1\text{mm}$
 - обрађени (упасовани) завртњеви $\Delta d \leq 0,3\text{mm}$

Обични завртњеви:



a šestougaona glava

b telo (vrat) zavrtnja

c navrtka

d podloška

Називну меру завртња дефинише дебљина тела завртња на месту навоја.

Нпр М20 - завртањ чији је пречник тела на месту навоја $d=20\text{mm}$.

Kod običnih zavrtnjeva p obavezna!

Подложне плочице имају функцију да омогуће боље налагање навртке на спојне елемент

Zazor ($\Delta d = d_0 - d$) treba

1 mm za M12 i M14

2 mm za M16 M18 M 20

3 mm za M27 i veće

Високовредни завртњеви:

- завртњеви израђени од челика високе класе чврстоће
- недостаци:
 1. већа цена у односу на обичне
 2. захтевана посебна обрада
 3. неопходна стална контрола квалитета завртњева и уређаја за уношење силе преднапрезања
- код завртњева класе 10.9 подлошке су обавезне и испод главе и испод навртке
- код завртњева класе 8.8 мора се користити подлошка само са стране са које се врши притезање
- грађевински завртњеви немају навој по целој дужини јер то смањује носивост

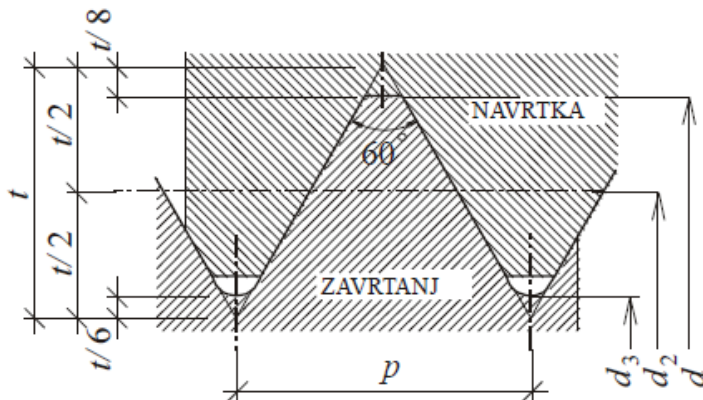
Подела према тачности израде:

- A. обрађени завртњеви $\Delta d = d_o - d \leq 0,3 \text{ mm}$
- B. необрађени завртњеви $\Delta d = d_o - d \geq 1 \text{ mm}$

Ово одступање омогућава да необрађени завртњеви могу да се лако уграде на монтажи.

Код обрађених завртњева номинални пречник тела завртња је већи од номиналног пречника дела са навојем!

Метрички навој:



Površina ispitnog preseka

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

d nominalni prečnik zavrtnja,

d_2 srednji prečnik navoja, $d_2 = d + 2 \cdot t/8 - 2 \cdot t/2 = d - 3/4 \cdot t$

d_3 prečnik jezgra zavrtnja, $d_3 = d + 2 \cdot t/8 - 2 \cdot t + 2 \cdot t/6 = d - 17/12 \cdot t$

p korak navoja koji zavisi od prečnika zavrtnja (npr. za M12 $p=1,75 \text{ mm}$),

t visina navoja koja zavisi od koraka navoja. $t = p / (2 \cdot \tan 30^\circ)$

2. Завртњеви (означавање, класе чврстоће, приказивање на цртежима, испитни пресек)

Означавање:

Ознака треба да садржи информације о :

- врсти навоја (**M** или ") (" - цол)
- пречнику завртња (**d**)
- дужини завртња (**ℓ**)
- квалитету материјала од кога је израђен (**класи чврстоће**)
- стандарду по коме је завртањ израђен

Mdxℓ...К.Č - (SRPS M.B1.068)

пример: **M20x100...5.6**

Навртка се обележава ознаком завртња за који се користи, класом и стандардом по коме је израђена
нпр. M20 5 SRPS...

Подложна плочица се означава врстом израде (A или B), пречником рупе и стандардом по коме је израђена.

Класе чврстоће:

Класа чврстоће дефинише квалитет челика од ког су завртњеви израђени:

- f_{ub} чврстоћа на затезање
- f_{yb} граница развлачења

Класа чврстоће се означава са два арапска броја раздвојена тачком.

Завртњеви се израђују у следећим класама чврстоће:

- 4.6 4.8 5.6 5.8 6.8 8.8 и 10.9

Број на првом месту представља стоти део чврстоће на затезање:

- $f_u/100$

Број на другом месту представља десетоструки однос границе развлачења и чврстоће на затезање:

- $10*(f_y/f_u)$

Класа чврстоће	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Обици завртњеви

Nazivni prečnik	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Osnovne oznake za zavrtnjeve							
Обрађени завртњеви							
Монтажни завртњеви							
Монтажне рупе и завртњеви							

Преднапрегнути високоредни завртњеви

Vrsta zavrtnja	Zazor	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Zavrtnjevi bez tačnog naleganja	$\Delta d \leq 1,0 \text{ mm}$							
Zavrtnjevi sa tačnim naleganjem	$\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$							
Dodatne oznake								
Монтажни завртњеви								
Монтажне и рупе и завртњеви								

3. Категорије спојева са завртњевима

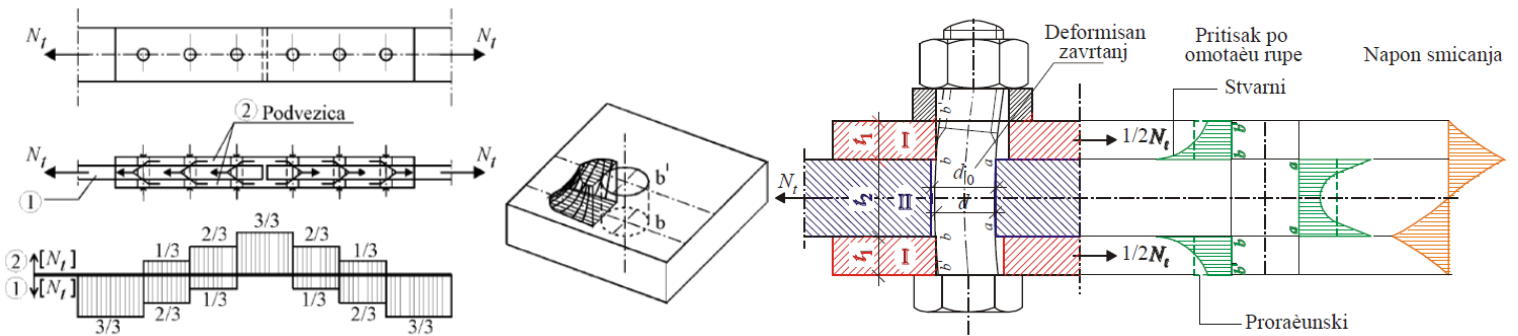
Смичући спојеви:

- Категорија А - спојеви код којих се оптерећење преноси притиском по омотачу рупе и смицањем завртњева
- Категорија В - спојеви отпорни на проклизавање при граничном стању употребљивости
- Категорија С - спојеви отпорни на проклизавање при граничном стању носивости

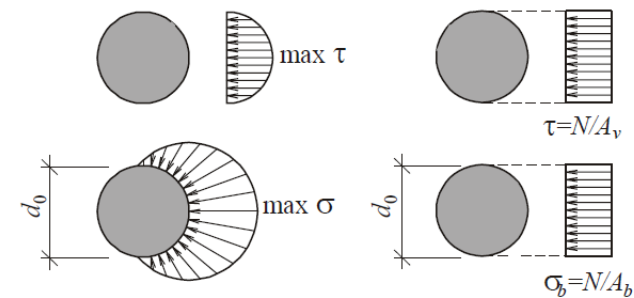
Спојеви оптерећени на затезање:

- Категорија D - спојеви са непреднапрегнутим завртњевима
- Категорија E - спојеви са преднапрегнутим завртњевима

4. Понашање завртњева у смичућим спојевима

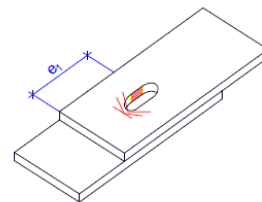


У зонама непосредно уз раван смичућег споја притисак по омотачу рупе достиже максималну вредност, која је знатно већа од просечне вредности са којом се врши прорачун.

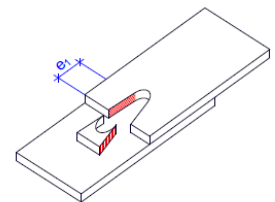


Stvarni dijagrami napona

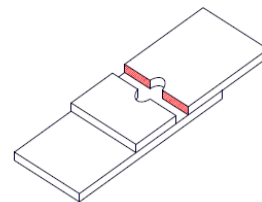
Proračunski dijagrami napona



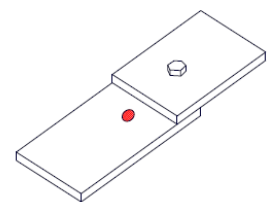
Lom gnječenjem omotača rupe



Lom cepanjem lima



Lom neto preseka



Lom smicanjem zavrtnja

Видови лома код смичућих спојева: ----->

Контроле носивости завртњева у смичућим спојевима:

Kategorija	Kriterijumi	Napomene
A Spojevi kod kojih se opterećenje prenosi pritiskom po omotaču rupe	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Ne zahteva se prednaprezanje. Koriste se zavrtnjevi klase čvrstoća 4.6 do 10.9.
B Spojevi otporni na proklizavanje pri граничном stanju upotrebljivosti	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Koriste se prednapregnuti zavrtnjevi klase čvrstoće 8.8 i 10.9.
C Spojevi otporni na proklizavanje pri граничном stanju nosivosti	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Koriste se prednapregnuti zavrtnjevi klase čvrstoće 8.8 i 10.9.

збир сила у споју мора да буде мањи од носивости на затезање

5. Носивост завртњева на смицање

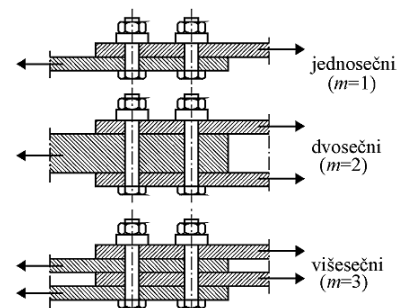
$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

Kod obrađenih zavrtnjeva, pri određivanju površine A , umesto prečnika zavrtnja (d) treba uzeti prečnik rupe (d_0)!

- kada ravan smicanja **prolazi** kroz deo zavrtnja sa navojem:
 A je površina ispitnog preseka zavrtnja A_s ;
 $\alpha_v = 0.6$ za klase čvrstoće 4.6, 5.6 i 8.8
 $\alpha_v = 0.5$ za klase čvrstoće 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9
- kada ravan smicanja **ne prolazi** kroz deo zavrtnja sa navojem:
 A je površina bruto preseka zavrtnja ($A = d^2 \pi 4$)
 $\alpha_v = 0.6$ za sve klase čvrstoće
 f_{ub} čvrstoća pri zatezanju zavrtnja;
 γ_{M2} parcijalni koeficijent sigurnosti ($\gamma_{M2}=1.25$);

Смицање се одвија у равни споја лимова (равни смицања) по површини врата завртња.

Сечност завртњева: ----->



$$F_{v,Rd} = m \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (m \text{ je broj ravni smicanja - sečnost zavrtnja})$$

6. Носивост завртњева на притисак по омотачу рупе

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

t деbljina lima
 d преčник завртња
 f_u чврстоћа при затезању (основног материјала)
 γ_{M2} парцијални коефицијент сигурности ($\gamma_{M2}=1,25$)

$$\alpha_b = \min\{\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1\}$$

У правцу преношења оптерећења:

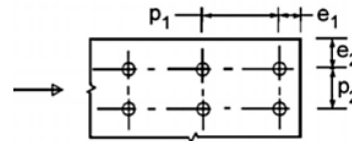
$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} \text{ за завртњеве у крајњим редовима}$$

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \text{ за завртњеве у унутрашњим редовима}$$

Управно на правец преношења силе:

$$k_1 = \min\left\{2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right\} \text{ за завртњеве у ивичним редовима (за } e_2 \geq 1,5d_0 \Rightarrow k_1=2,5)$$

$$k_1 = \min\left\{1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right\} \text{ за завртњеве у унутрашњим редовима (за } p_2 \geq 3d_0 \Rightarrow k_1=2,5)$$

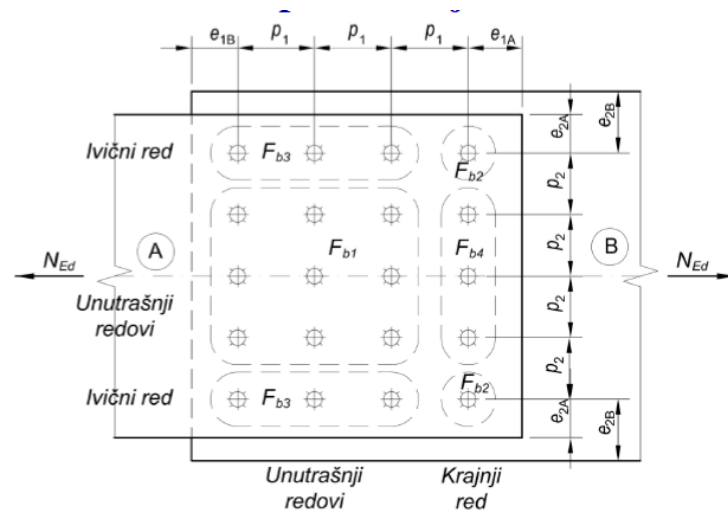


Носивост групе завртњева:

- због геометрије везе носивост на притисак по омотачу рупе није иста за све завртњеве

- носивост на притисак по омотачу рупе мора посебно да се провери за сваки лим који се налази у смичућем споју

- ако је носивост завртња на смицање $F_{V,Rd}$ већа или једнака од $F_{b,Rd}$ сваког појединачног завртња ($F_{bi,Rd}$), носивост групе завртњева на притисак по омотачу рупе може да се одреди као збир прорачунских носивости појединачних завртњева ($\sum F_{bi,Rd}$); у супротном, носивост групе завртњева на притисак по омотачу рупе треба да се одреди као број завртњева (n) помножен најмањом носивошћу појединачног завртња ($\min F_{bi,Rd}$)



Grupa 1: Unutrašnji zavrtnjevi $F_{b1}(\alpha_{d,1}, k_{1,1})$

Grupa 2: Ugaoni zavrtnjevi $F_{b2}(\alpha_{d,2}, k_{1,2})$

Grupa 3: Unutrašnji ivični zavrtnjevi $F_{b3}(\alpha_{d,1}, k_{1,2})$

Grupa 4: Krajnji unutrašnji zavrtnjevi $F_{b4}(\alpha_{d,2}, k_{1,1})$

$$F_{V,Rd} \geq \max(F_{b1}, F_{b2}, F_{b3}, F_{b4}) \rightarrow$$

$$F_{b,Rd} = n_1 F_{b1} + n_2 F_{b2} + n_3 F_{b3} + n_4 F_{b4}$$

$$F_{V,Rd} < \max(F_{b1}, F_{b2}, F_{b3}, F_{b4}) \rightarrow$$

$$F_{b,Rd} = n \times \min(F_{b1}, F_{b2}, F_{b3}, F_{b4})$$

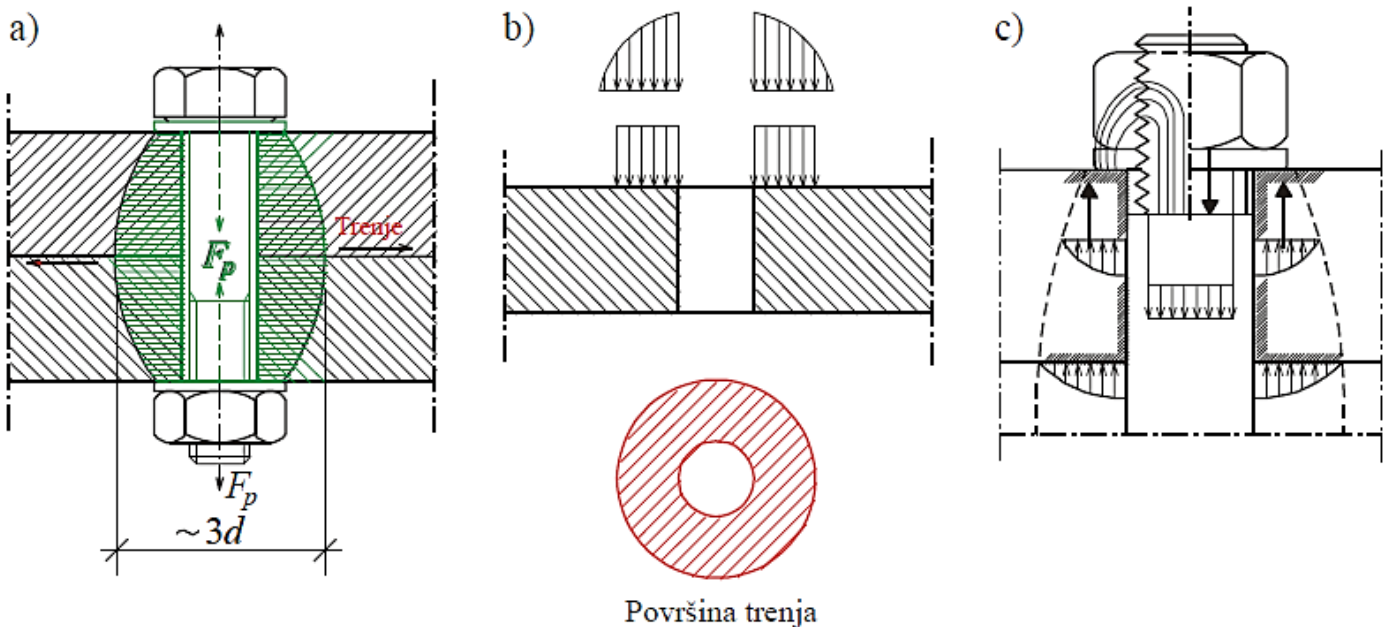
7. Понашање преднапрегнутих завртњева у смичућим спојевима (високовредних)

Сила затезања која се уноси у завртањ преднапрезањем изазива притисак у елементима између главе и навртке. На површинама елемената, испод подложних плочица, јављају се велики контактни напони притиска. Овај напон се распростире кроз елементе и шири под одређеним углом, тако да у средини дебљине везе делује на кружној површини чији је пречник приближно једнак $3d$.

На контакту између та два елемента, услед напона притиска, јавља се сила трења која прихвата смичуће силе и спречава међусобно померање елемената у споју.

Када је спољашња смичућа сила већа од сила трења - долази до проклизавања везе праћеног међусобним померањем елемената везе. Ова померања настају услед поништавања зазора између рупе и тела завртња. Након проклизавања долази до контакта тела завртња и површина рупа елемената у вези. Проклизавање везе не значи уједно и губитак носивости, јер се смицањем тела завртња и гњечењем омотача рупе могу прихватити додатне смичуће силе.

- основни проблем код веза са обичним завртњевима је зазор између тела завртња и рупе
- деформације веза са обичним завртњевима су релативно велике због поништења зазора
- обични завртњеви нису погодни за везе у динамички оптерећеним конструкцијама
- сила трења између лимова зависи од напона притиска и храпавости (трења) контактних површи
- концентрација напона у нето пресеку је мања код веза са преднапрегнутих завртњевима



8. Носивост преднапрегнутих завртњева на проклизавање

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

n број тарних површи
 μ коефицијент trenja за тарне површи
 $F_{p,C}$ сила притезања завртња
 γ_{M3} парцијални коефицијент сигурности
 k_s коефицијент који зависи од величине и
 типа рупа за завртњево

Opis	k_s
Zavrtnjevi u normalnim rupama	1,00
Zavrtnjevi u rupama sa većim zazorom ili kratkim ovalnim rupama - osa otvora upravna na pravac prenošenja opterećenja	0,85
Zavrtnjevi u dugim ovalnim rupama - osa otvora upravna na pravac prenošenja opterećenja	0,70
Zavrtnjevi u kratkim ovalnim rupama - osa otvora paralelna pravcu prenošenja opterećenja	0,76
Zavrtnjevi u dugim ovalnim rupama - osa otvora paralelnim pravcu prenošenja opterećenja	0,63

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

Сила притезања (преднапрезања) се остварује увртањем навртке завртња. При томе се у завртњу, као примарно напрезање, јавља сила затезања. Осим аксијалних напона услед силе затезања, у завртњу се јављају и смичући напони услед момента торзије као последица трења између навртке и навоја и између навртке и подлошке.

Контролисано уношење силе преднапрезања завртња се остварује помоћу: моментног кључа, моментног импулса, индикаторске подлошке, мерења угла обртања...

Код нас се најчешће примењује поступак са мерењем момента увртања моментним кључем: $M_u = F_{p,C} \cdot d \cdot k$,
 d - пречник завртња, k - коефицијент трења између навртке и навоја (0,13 - 0,17).

9. Носивост завртњева на затезање

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$k_2 = 0,63$ за завртњево са упуштеном главом,
 $k_2 = 0,90$ у осталим случајевима.

До лома завртња не долази на месту минималног пречника. Због спиралног хода навоја, до лома долази по пресеку са нешто већим пречником који се назива **испитни пресек** A_s .

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad d_2 - \text{средњи пречник навоја} \quad d_3 - \text{пречник језгра завртња}$$

Носивост на затезање је иста за обрађене и необрађене завртње!

Носивост на затезање је иста за категорије D и E.

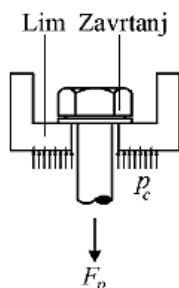
10. Понашање преднапрегнутих завртњева у затежућим спојевима

Преднапрегнути високовредни завртњеви су, због велике носивости и мале деформабилности споја, најповољнија механичка средства за пријем сила затезања.

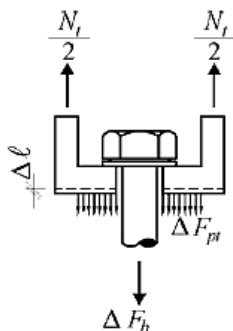
Најчешће се затежући спојеви јављају код монтажних наставка аксијално затегнутих штапова.

Када спољашња сила затезања делује на преднапрегнути спој, она настоји да „одлепи“ елементе споја и изазива истовремено смањење контактне силе притиска у лиму (ΔF_{pt}) и повећање силе затезања у завртњу (ΔF_b).

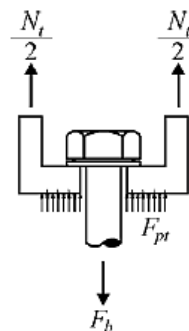
Prednaprezanje



Opterećenje



“Odlepljivanje”



$$F_p = F_c = \int_A p_c \cdot dA$$

$$\Delta F_b = \frac{N_t}{1 + K_{pt} / K_b}$$

$$(K_{pt} / K_b \approx 15 - 20)$$

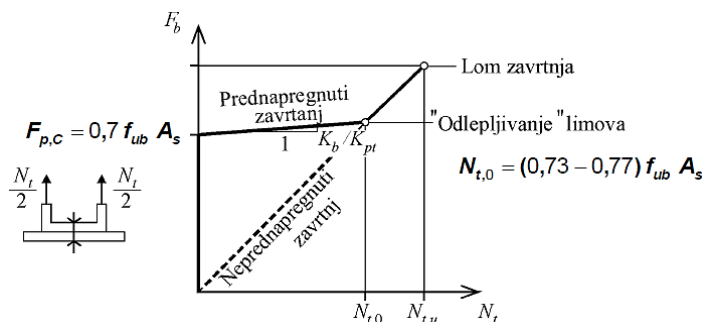
$$N_t = N_{t,0} \approx (0,73 - 0,77) \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

K_{pt} - крутост лима на притисак

K_b - крутост завртња на затезање

$N_{t,0}$ - сила при којој долази до одлепљивања

- ❖ Поређење преднапрегнутих и непреднапрегнутих завртњева у спојевима оптерећеним на затезање (D и E категорије)



Носивост завртњева у спојевима категорија D и E је иста.

Разлика је у деформабилности споја и напонским разликама у завртњу услед спољашњег оптерећења.

Након одлепљивања додатну силу затезања прихвата само високовредни завртњ, јер је потпуно поништен контактни притисак између лимова.

За силе затезања које су веће од $N_{t,0}$ преднапрегнути завртњеви се понашају исто као и непреднапрегнути, па им је и гранична носивост иста.

❖ Предности спојева категорије E

- спојеви категорије E са преднапрегнутим завртњевима се користе код динамички оптерећених конструкција
- деформабилност везе је знатно мања
- смањују се напонске разлике у завртњевима
- спречава се неконтролисано одвртање завртњева
- код затегнутих спојева није потребна обрада површина

11. Носивост на пробијање лима испод главе или навртке завртња у затежућем споју

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$

t_p - дебелина испод главе завртња или навртке (мања вредност)
 d_m - средња вредност пречника опис. и упис. круга главе завртња

Може да буде меродавна код спољашњих лимова мале дебљине!

12. Комбиновано напрезање завртњева

Код завртњева који су истовремено оптерећени на смицање и затезање, поред појединачних контрола носивости потребно је проверити и интерактивно дејство смицања и затезања.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$F_{v,Ed}$ прорачунска вредност силе смицања у завртњу;

$F_{t,Ed}$ прорачунска вредност силе затезања у завртњу;

$F_{v,Rd}$ прорачунска носивост завртња на смицање;

$F_{t,Rd}$ прорачунска носивост завртња на затезање;

Преднапрегнути завртњеви:

Spojevi kategorije B:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}}$$

Spojevi kategorije C:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

$F_{t,Ed,ser}$ - прорачунска вредност силе затезања у завртњу за SLS

$F_{s,Rd,ser}$ - прорачунска носивост завртња на проклизавање при SLS

$\gamma_{M3,ser} = 1,1$ - за SLS

$F_{t,Ed}$ - прорачунска вредност силе затезања у завртњу за ULS

$F_{s,Rd}$ - прорачунска носивост завртња на проклизавање при ULS

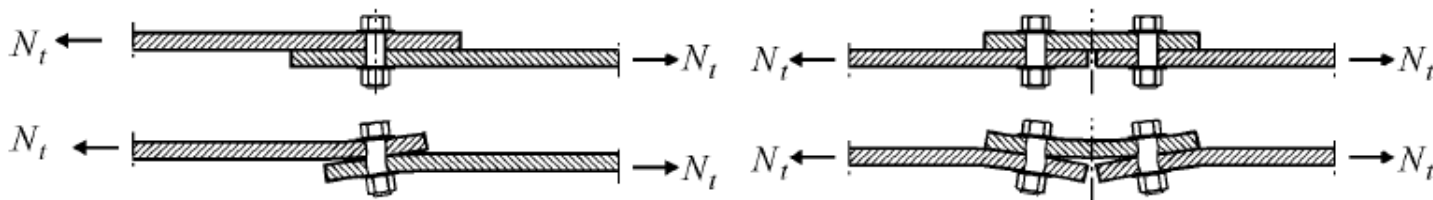
$\gamma_{M3} = 1,25$ - за ULS

$F_{p,C}$ - сила притезања

Уколико се у споју поред смичуће силе јавља и сила затезања, тада се смичућа сила прихвата силом трења коју изазива резултујућа сила затезања у завртњу. Сила затезања смањује притисак у контактном споју, који је изазван силом преднапрезања.

13. Конструисање веза са завртњевима

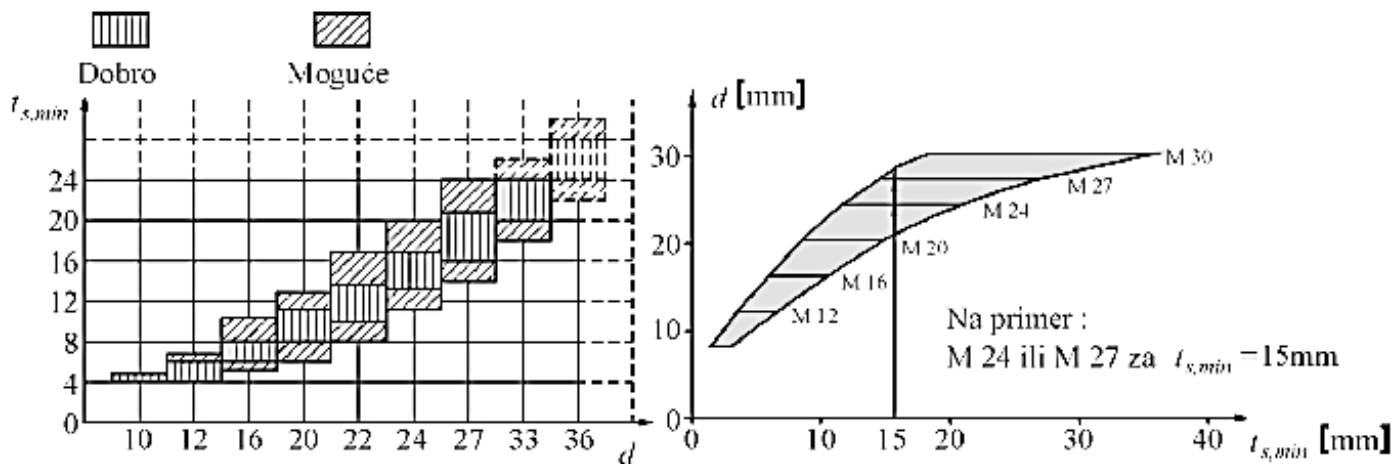
- везе су симетричне
- на једном делу попречног пресека (ножица или ребро) се користе завртњеви истог пречника
- препоручује се да растојање између првог и последњег завртња у правцу деловања силе на буде веће од $15d$ (максимум 6 завртњева у једном реду); у супротном се редукује носивост
- крајња и ивична растојања, као и међусобни размаци завртњева треба да буду у оквиру прописаних граница
- минималан завртањ је M12 (код танкозидних НОР М6)
- код веза на преклоп са једним редом завртњева обавезне су подлошке и испод главе и испод навртке, а носивост на притисак по омотачу рупе се редукује ($F_{b,Rd}=1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_u / \gamma_{m2}$)
- везе на преклоп са једним закивком нису допуштене јер код њих услед ексцентричности долази до савијања спојног средства; поред смицања и савијања јавља се и затезање



	МИНИМАЛНИ ПРЕЧНИК	МИНИМАЛНИ БР. КОМАДА са једне стране
ЗГРАДАРСТВО	12	2
МОСТОГРАДЊА	16	3

Оптималан пречник завртња:

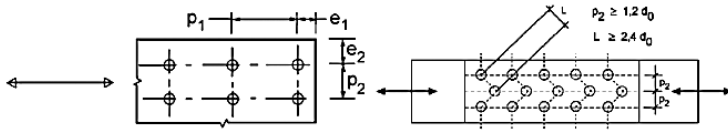
Правилним избором пречника завртња добија се уравнотежен однос носивости на смицање и притисак по омотачу рупе.



$$opt \ d_0 = \sqrt{5 \cdot t_{s,min}} - 0,2 \quad [cm]$$

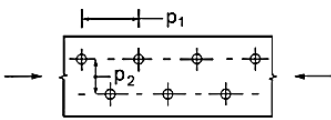
$$6,324 \cdot \sqrt{\frac{t_{s,min}}{1+0,3}} - 1 \leq d \leq 6,324 \cdot \sqrt{\frac{t_{s,min}}{1-0,3}} - 1$$

Распоред завртњева:



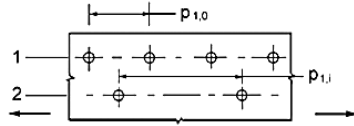
(a) Oznake rastojanja spojnih sredstava

(b) Oznake za smaknute razmake



$p_1 \leq 14t$ i ≤ 200 mm
 $p_2 \leq 14t$ i ≤ 200 mm

(c) Smaknuti razmaci kod pritisnutih elemenata



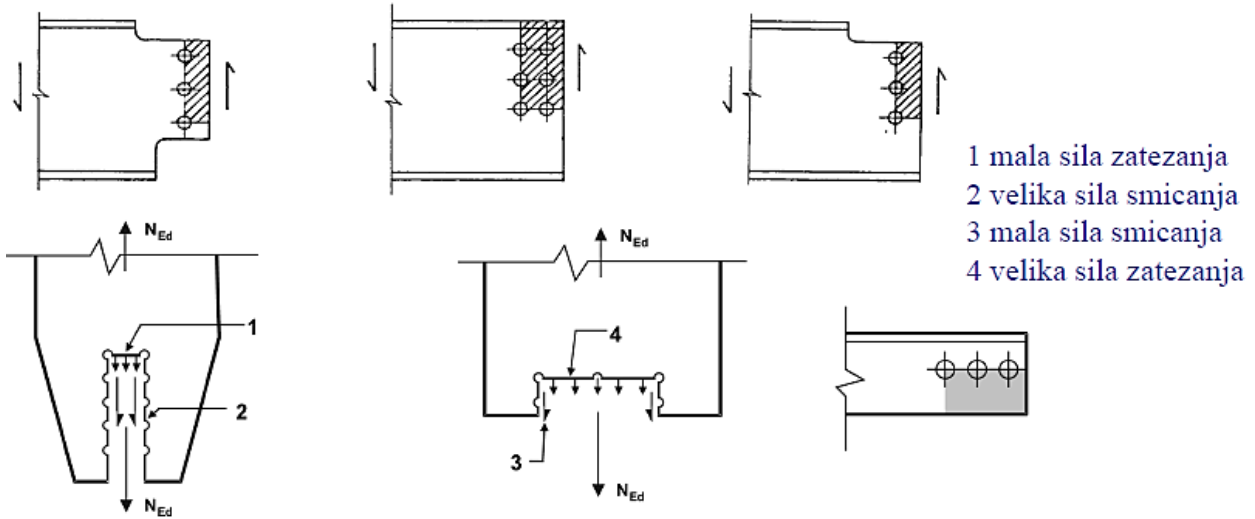
$p_{1,0} \leq 14t$ i ≤ 200 mm
 $p_{1,i} \leq 28t$ i ≤ 400 mm
1 spoljašnji red 2 unutrašnji red

(d) Smaknuti razmaci kod zategnutih elemenata

Rastojanja i razmaci	Minimalna	Maksimalna	
		Kada su izloženi atmosferskim ili drugim korozionim uticajima	Kada nisu izloženi atmosferskim ili drugim korozionim uticajima
Krajnje rastojanje e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm	
Ivično rastojanje e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm	
Razmak p_1	$2,2d_0$	Manje od $14t$ ili 200 mm	Manje od $14t$ ili 200 mm
Razmak p_2	$2,4d_0$	Manje od $14t$ ili 200 mm	Manje od $14t$ ili 200 mm

t je debljina najtanjeg spoljašnjeg lima u spoju.

14. Носивост на цепање блока



Цепање (кидање) материјала се јавља на месту везе остварене помоћу групе завртњева, која се налази уз ивицу елемента оптерећеног смицањем или затезањем.

Карактеристично је за зглобне везе носача, као и за везе затегнутих елемената.

Za simetrične grupe zavrtnjeva izložene centričnom opterećenju: Za grupe zavrtnjeva izložene ekscentričnom opterećenju:

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (f_y / \sqrt{3}) A_{nv} / \gamma_{M0}$$

A_{nt} neto površina izložena zatezanju,
 f_y granica razvlačenja osnovnog materijala,

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (f_y / \sqrt{3}) A_{nv} / \gamma_{M0}$$

A_{nv} neto površina izložena smicanju,
 f_u čvrstoća pri zatezanju, osnovnog materijala.