

Pitanja iz Metalnih konstrukcija za usmeni deo ispita

Prvi i drugi deo

Osnovne osobine čelika koje se moraju znati bez obzira na pitanja

MEHANIČKE KARAKTERISTIKE ČELIKA

Najvažnije karakteristike za proračun konstrukcija:

- granica razvlačenja – f_y
- čvrstoća na zatezanje – f_u
- modul elastičnosti – E
- Puasonov (Poissonov) koeficijent – ν
- zapreminska masa – γ

Bitne konstante materijala

$$E = 210000 \text{ MPa (21000 kN/cm}^2\text{)}$$

$$\nu = 0,3$$

$$G = E/(2(1+\nu)) = 81000 \text{ MPa (8100 kN/cm}^2\text{)}$$

$$\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$$

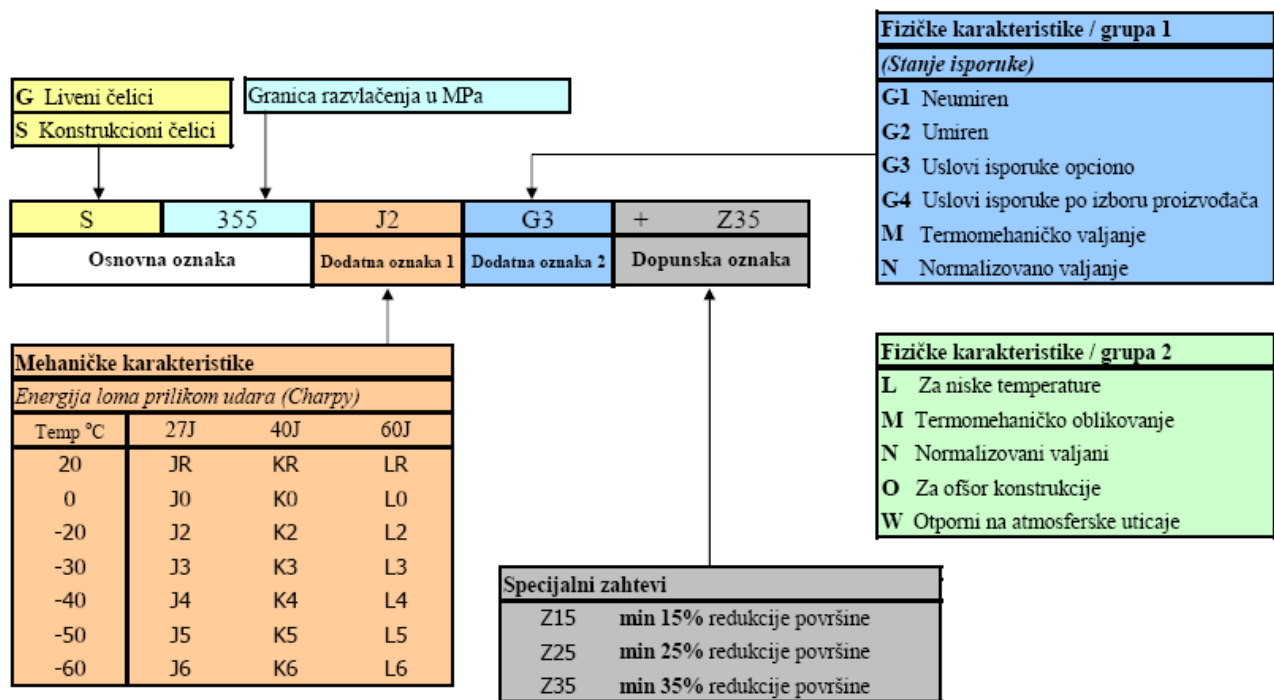
$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/C}^\circ$$

OZNAČAVANJE ČELIKA (opšte, čelici sa utvrđenim mehaničkim osobinama, čelici sa utvrđenim hemijskim sastavom i mehaničkim osobinama)

Označavanje čelika je visoko standardizovano.

Usvojen je Evropski sistem označavanja.

Novi sistem za označavanje čelika



Slovni simbol osnovne oznake kod specifičnih čelika

G za liveni čelik

S za konstrukcioni čelik (S235, S275, S355 ...)

B za betonske čelike (B500 ...)

P za čelik za opremu pod pritiskom (P265, P355 ...)

E za čelik za mehaničke konstrukcije (E295, ...)

Y za čelik za prednaprezanje betona (Y1770 ...)

Pitanja od kojih dolaze 2 od 18

1. METODE PRORAČUNA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA (metoda dopuštenih napona i metoda graničnih stanja)

Odgovor:

Metode proračuna

Prema teoriji dopuštenih napona

- deterministički pristup;
- zastupljen u domaćim propisima;

Prema teoriji graničnih stanja

- poluprobabilistički pristup;
- zastupljen u većini savremenih propisa (Evrokod);

2. PRORAČUN PREMA TEORIJI DOPUŠTENIH NAPONA

Proračun prema teoriji dopuštenih napona

- Standardom se definišu (propisuju) određeni slučajevi (kombinacije) opterećenja i odgovarjući dopušteni naponi koji ne smeju biti prekoračeni!
- Kriterijum za iscrpljenje nosivosti je dostizanje granice razvlačenja (f_y).
- Dopušteni naponi se određuju (determinišu) na osnovu jedinstvenih koeficijenata sigurnosti (ν) kojim se deli napon na granici razvlačenja (f_y).
- Zasniva se na Teoriji elastičnosti i u pogledu proračuna uticaja u elementima konstrukcije (globalna analiza) i u pogledu dimenzionisanja preseka i elemenata (lokalna analiza).
- Pored kontrole napona obavezna je i kontrola deformacija.

3. SLUČAJEVI OPTEREĆENJA

Slučajevi opterećenja

- **I slučaj opterećenja – osnovno opterećenje** (sopstvena težina, stalno opterećenje, sneg, korisno opterećenje, saobraćajno opterećenje,...)
- **II slučaj opterećenja – osnovno + dopunsko opterećenje** (dopunska opterećenja su: vetar, temperatura, sile kočenja, bočni udari,...)
- **III slučaj opterećenja – osnovno + dopunsko + izuzetno opterećenje** (izuzetna opterećenja su: udar vozila, seizmički uticaju, požar...)

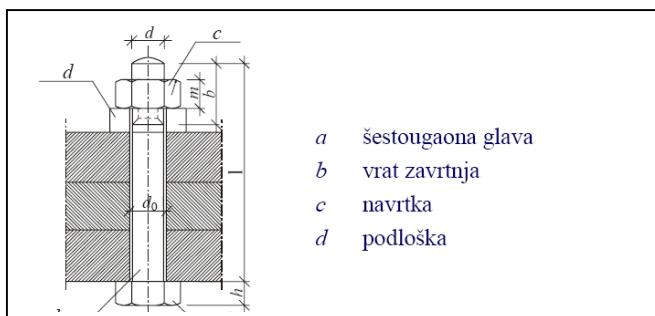
4. OBIČNI ZAVRTNJEVI (opšte, oblici i vrste zavrtnjeva)

Predosti zavrtnjeva u odnosu na zakivke

- ujednačen kvalitet (industrijska proizvodnja),
- jednostavnija oprema i jeftinija radna snaga za ugradnju,
- nezavisnost u odnosu na vremenske uslove,
- brža ugradnja
- manja cena.

Oblik i dimenzije običnih zavrtnjeva:

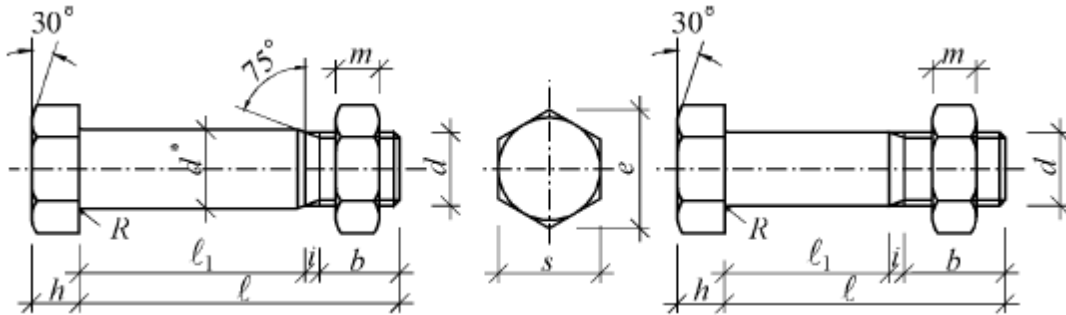
M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30



Podela prema tačnosti izrade:

a) Obradeni (upasovani) zavrtnjevi, $\Delta d = d_0 - d \leq 0,3 \text{ mm}$

b) Neobrađeni (neupasovani) zavrtnjevi $\Delta d = d_0 - d \geq 1,0 \text{ mm}$



Zavrtnaj M20

obrađen

neobrađen

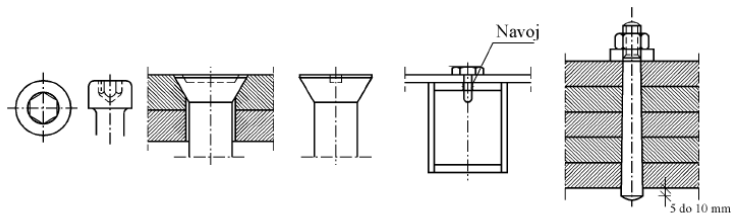
nominalni prečnik
prečnik tela zavrtnja
prečnik rupe

$d = 20 \text{ mm}$
 $d = 21 \text{ mm}$ –za proračun
 $d_0 = 21 \text{ mm}$

$d = 20 \text{ mm}$
 $d = 20 \text{ mm}$
 $d_0 = 21 \text{ mm}$

Specifični oblici zavrtnjeva

- zavrtnjevi sa unutrašnjom šestougaonom glavom;
- zavrtnjevi sa upuštenom glavom;
- zavrtnjevi bez navrtke;
- konusni zavrtnjevi.



5. OBIČNI ZAVRTNJEVI (klase čvrstoće i obeležavanje u tehničkoj dokumentaciji)

Označavanje zavrtnjeva

Oznaka treba da sadrži informacije o:

- vrsti navoja (M ili “),
- prečniku zavrtnja (d),
- dužini zavrtnja (l),
- kvalitetu materijala od koga je izrađen i
- standardu po kome je zavrtnj izrađen.

Mdxl...k.č–(JUS M.B1.068)

Primer:M20x100...5.6

Prikazivanje zavrtnjeva na crtežima :

Nazivni prečnik	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Osnovne oznake za zavrtnjeve						28	31
Obradjeni zavrtnjevi						28	31
Montažni zavrtnjevi						28	31
Montažne rupe i zavrtnjevi						28	31

Klase čvrstoće zavrtnjeva:

Klasa čvrstoće definiše kvalitet čelika od kog su zavrtnjevi izrađeni, odnosno njegove mehaničke karakteristike:

- f_u čvrstoća na zatezanje i
- f_y granice razvlačenja.

Klasa čvrstoće se označava sa dva broja razdvojena tačkom!

Značenje oznake klase čvrstoće

Broj na prvom mestu predstavlja stoti deo čvrstoće na zatezanje u MPa: $f_u/100$.

Broj na drugom mestu predstavlja desetostruki odnos granice razvlačenja i čvrstoće na zatezanje:

10 (f_y/f_u)

Obični zavrtnjevi se izrađuju u sledećim klasama čvrstoće: 4.6, 4.8, 5.6, 5.8 i 6.8.

Klase čvrstoće zavrtnjeva:

Klasa čvrstoće definiše kvalitet čelika od kog su zavrtnjevi izrađeni, odnosno njegove mehaničke karakteristike:

- f_u čvrstoća na zatezanje i
- f_y granice razvlačenja.

Klasa čvrstoće se označava sa dva broja razdvojena tačkom!

Značenje oznake klase čvrstoće:

Broj na prvom mestu predstavlja stoti deo čvrstoće na zatezanje u MPa: $f_u/100$.

Broj na drugom mestu predstavlja desetostruki odnos granice razvlačenja i čvrstoće na zatezanje: $10 (f_y/f_u)$

Obični zavrtnjevi se izrađuju u sledećim klasama čvrstoće: 4.6, 4.8, 5.6, 5.8 i 6.8.

6. NOSIVOST ZAVRTNJEVA NA SMICANJE

Nosivost zavrtnjeva na smicanje:

$$F_v = m \cdot A_{v,1} \cdot \tau_{dop} = m \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \tau_{dop}$$

M - sečnost zavrtnja,

$A_{v,1}$ - površina poprečnog preseka tela zavrtnja,

τ_{dop} - dopušten napon smicanja i

d - prečnik zavrtnja.

Kod obrađenih zavrtnjeva umesto prečnika zavrtnja (d) treba uzeti prečnik rupe (d_0)!

7. NOSIVOST ZAVRTNJEVA NA PRITISAK PO OMOTAČU RUPE

Nosivost zavrtnjeva na pritisak po omotaču rupe:

$$F_b = \min A_b \cdot \sigma_{b,dop}$$

$$F_b = \min \sum t \cdot d \cdot \sigma_{b,dop}$$

$\min A_b$ - minimalna površina kontakta između tela zavrtnja i omotača rupe;

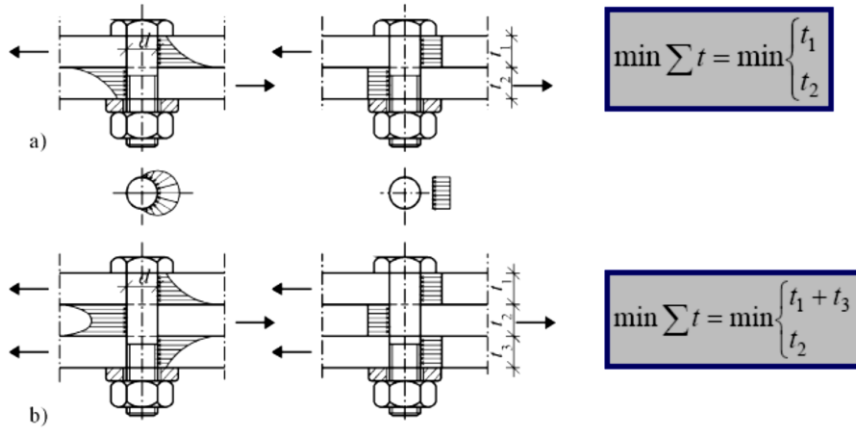
d - prečnik tela zavrtnja;

$\min \sum t$ - minimalna debljina limova koji su opterećeni u istom pravcu;

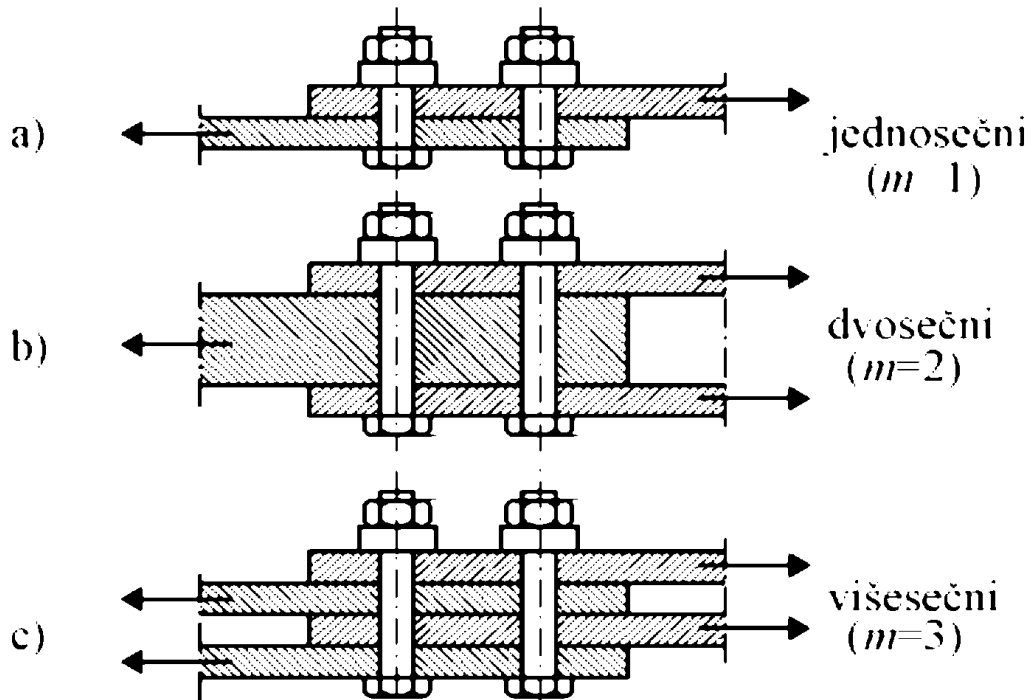
$\sigma_{b,}$ - dopušten napon pritiska po omotaču rupe.

Kod obrađenih zavrtnjeva umesto prečnika zavrtnja (d) treba uzeti prečnik rupe (d₀)!

Određivanje minimalne debljine



Sečnost zavrtnjeva



8. NOSIVOST ZAVRTNJEVA NA ZATEZANJE

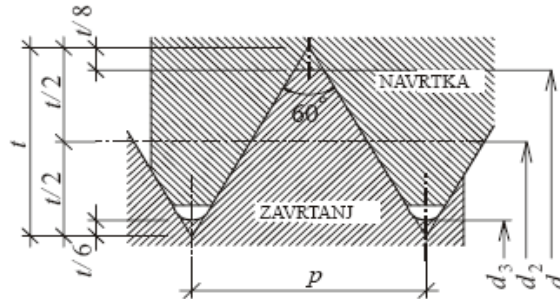
Nosivost zavrtnjeva na zatezanje

Zavisi od:

- kvaliteta materijala i
- površine ispitnog preseka (A_s)

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

d_2 srednji prečnik navoja,
 d_3 prečnik jezgra zavrtnja.



Dopuštena sila zatezanja:

$$F_{t,dop} = A_s \cdot \sigma_{t,dop}$$

A_s - površina ispitnog preseka zavrtnja,
 $\sigma_{t,dop}$ - dopušten napon zatezanja za zavrtnjeve.

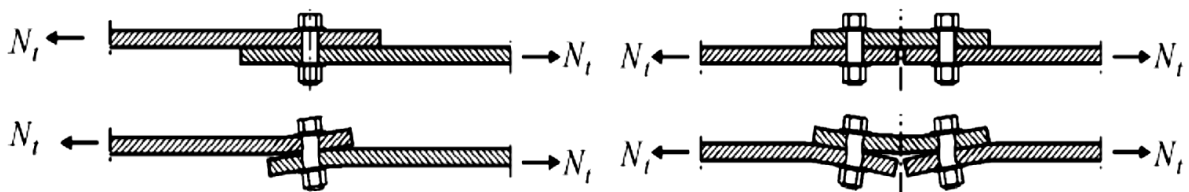
Nosivost obrađenih i neobrađenih zavrtnjeva na zatezanje je ista!

9. KONSTRUISANJE VEZA SA ZAVRTNJEVIMA I ZAKIVCIMA (opšta pravila, određivanje prečnika spojnog sredstva, raspored zakivaka i zavrtnjeva u vezi)

Pravila za konstruisanje veza sa zavrtnjevima i zakivcima:

- Veze i nastavci treba da budu simetrični!
- Minimalan broj zavrtnjeva (zakivaka) sa jedne strane spoja je 2 u zgradarstvu, a 3 u mostogradnji.
- Veze na preklop sa 1 zakivkom nisu dozvoljene, a veze sa 1 zavrtnjom se koriste samo u izuzetnim slučajevima;

Veze na preklop sa jednim zavrtnjem



Savijanje spojnog sredstva (zavrtnja)!

Pored smicanja i savijanja u zavrtnju se javlja i zatezanje!

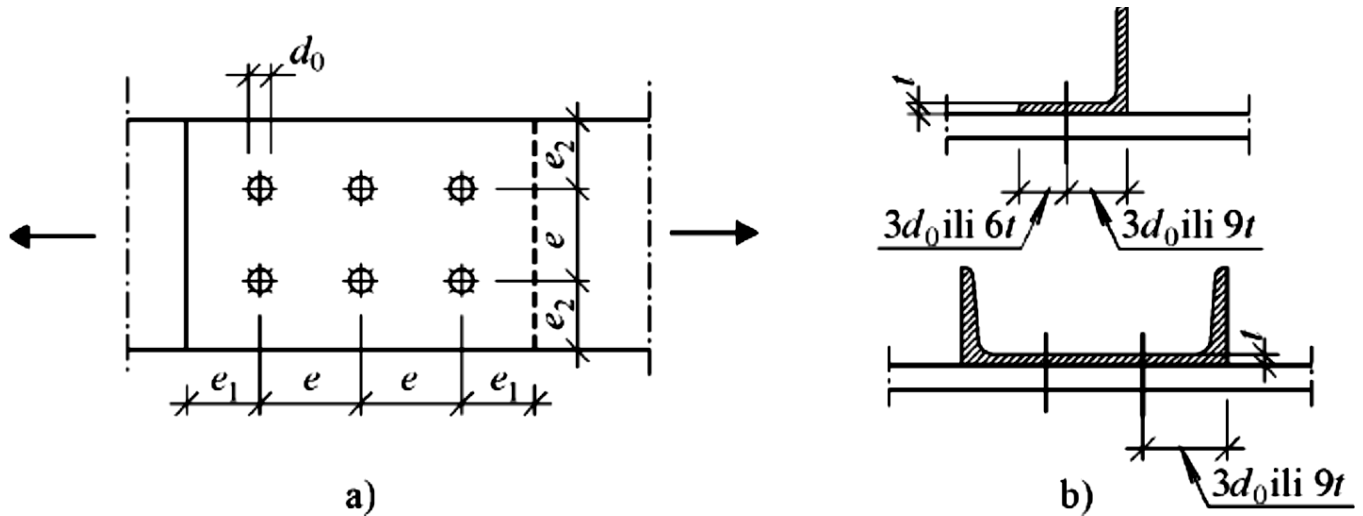
Optimalan prečnik zavrtnja:

- Pravilnim izborom prečnika zavrtnja dobija se uravnotežen odnos nosivosti na smicanje i pritisak po omotaču rupe!

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

$t_{s, \min}$ – minimalna debljina jednog od elemenata koji se spajaju

Raspored zavrtnjeva u vezi – oznake:



e - rastojenje između susednih zavrtnjeva;

e1 - rastojanje između zavrtnja i ivice lima u pravcu delovanja sile;

e2 - rastojanje između zavrtnja i ivice lima upravno na pravac delovanja sile

10. ZAVARIVANJE (opšti pojmovi i definicije, naponi)

Šta je zavarivanje?

- Tehnološki postupak spajanja istih ili sličnih metala;
- Na visokim temperaturama tope se osnovni i dodatni materijal, dolazi do njihovog mešanja i sjedinjavanja (fizičkog i hemijskog);
- Hlađenjem ove mešavine dolazi do očvršćavanja i nastaje šav kao materijalni kontinuitet;
- Zavarivanjem nastaje kontinualan spoj;

Prednosti zavarivanja

1. Materijalan kontinuitet (pravilan tok sila);
2. Smanjenje ukupne težine konstrukcije (lakše veze, mogućnost variranja debljine elemenata);
3. Brža izrada u radionici (nema bušenja);
4. Nema slabljenja elemenata rupama za spojna sredstva;
5. Manja deformabilnost veza, a samim tim i konstrukcije;
6. Velike mogućnosti konstrukcijskog oblikovanja;
7. Vodonepropusnost spojeva
8. Estetski aspekt;

Nedostaci

- Kvalifikovana radna snaga;
- Kontrola kvaliteta spojeva u radionici i na gradilištu;
- Osetljivost na klimatske uslove na gradilištu (temperatura, vetar);
- Veća osetljivost na dejstvo požara;
- Zavarene veze nisu montažno-demontažne;

Vrste spojeva:

- sučeoni spojevi;
- ugaoni ili T spojevi;
- preklopni spojevi

Vrste šavova

- Sučeoni šavovi sa punom penetracijom;
- Sučeoni šavovi sa delimičnom penetracijom;
- Ugaoni šavovi;
- Šavovi u rupama;
- Čep šavovi;
- Užljebljeni šavovi;

Minimalne i maksimalne dimenzije ugaonih šavova:

Osnovne dimenzije su debljina (a) i dužina (l) šava.

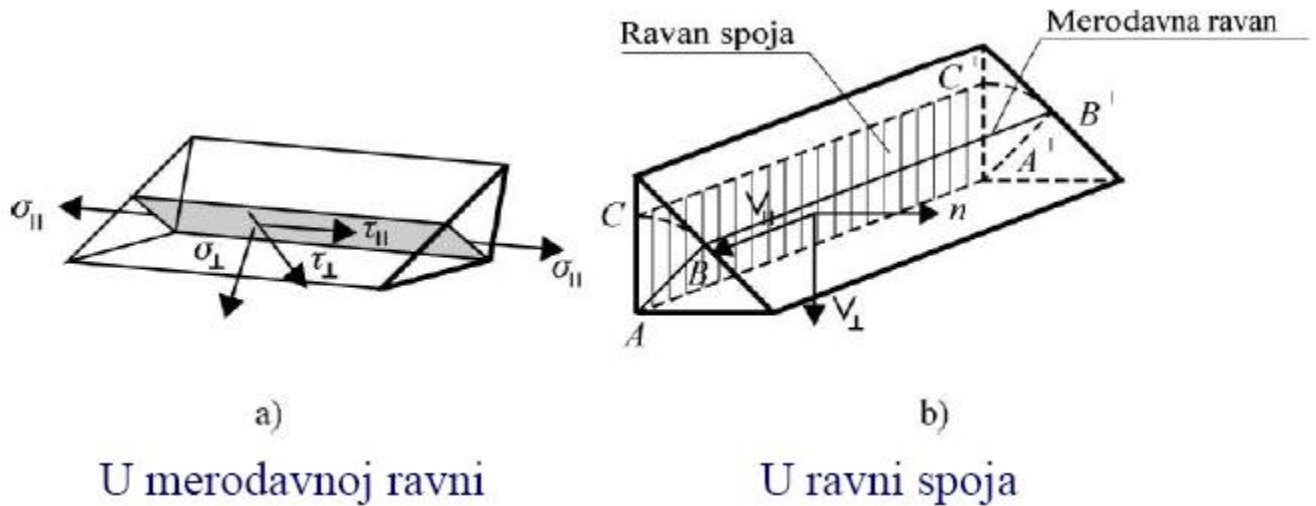
Minimalna debljina šava je $a_{\min} = 3 \text{ mm}$

Maksimalna debljina šava je $a_{\max} = 0,7t_{\min}$ (izuzetno, kod šupljih profila, $a_{\max} = t_{\min}$);

Maksimalna dužina šava je $l_{\max} = 100a$.

Minimalna dužina šava je $l_{\min} = 6a$ ili 40 mm .

Komponente napona u ugaonim šavovima:



- n normalni napon koji deluje upravno na ravan spoja;
- V_{\parallel} napon smicanja koji deluje u pravcu šava;
- V_{\perp} ~ napon smicanja koji deluje upravno na šav;

Kontrola nosivosti ugaonih šavova:

$$\sigma_u = \sqrt{n^2 + V_{\parallel}^2 + V_{\perp}^2} \leq \sigma_{w,dop}$$

- Uporedni napon σ_u je vektorski zbir svih komponentalnih napona u šavu!
- Dopušteni naponi za ugaone šavove $\sigma_{w,dop}$

Primena ugaonih šavova

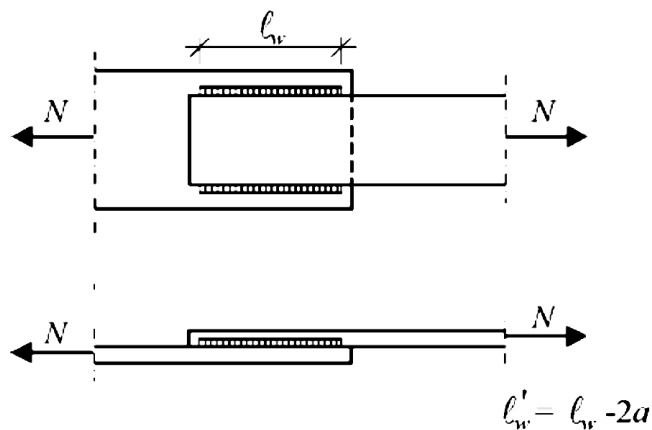
Aksijalno opterećeni elementi:

- spojevi na preklop i
- ugaoni spojevi.

Veze kod elemenata opterećenih na savijanje;

Kombinovano napregnuti elementi;

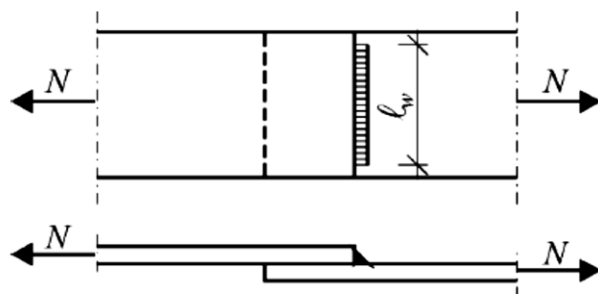
Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih spojeva na preklop, podužni (bočni) ugaoni šavovi:



$$V_{||} = \frac{N}{l'_w \cdot 2 \cdot a}$$

$$\sigma_u = V_{||} \leq \sigma_{w,dop}$$

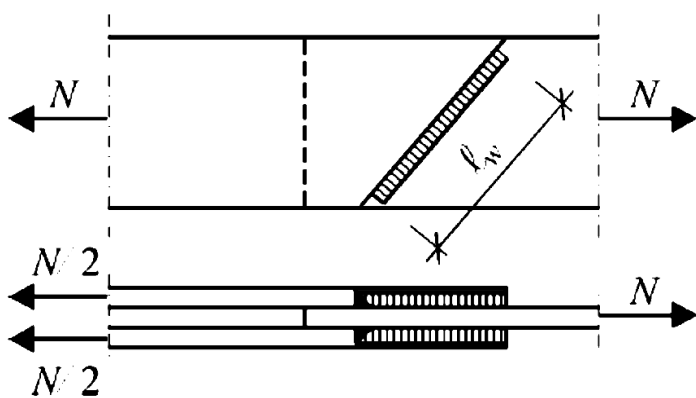
Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih spojeva na preklop. Poprečni (čeon) ugaoni šavovi



$$n = \frac{N}{l'_w \cdot a}$$

$$\sigma_u = n \leq \sigma_{w,dop}$$

Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih spojeva na preklop - kosi ugaoni šavovi:

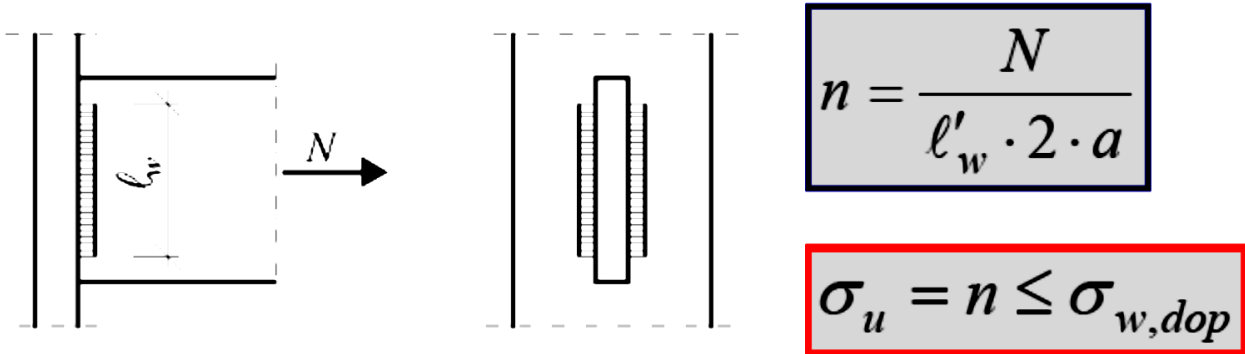


$$V_{||} = \frac{N \cdot \cos \theta}{l'_w \cdot 2 \cdot a}$$

$$n = \frac{N \cdot \sin \theta}{l'_w \cdot 2 \cdot a}$$

$$\sigma_u = \sqrt{V_{||}^2 + n^2} \leq \sigma_{w,dop}$$

Proračun ugaonih šavova kod aksijalno opterećenih elemenata u ugaonim spojevima:



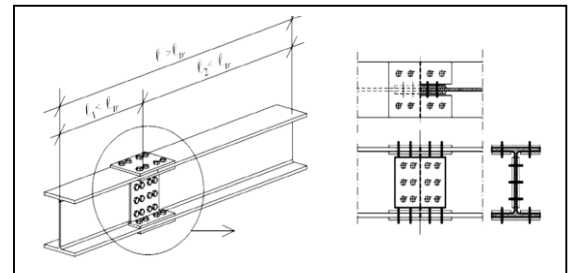
11. PRORAČUN I KONSTRUISANJE MONTAŽNIH NASTAVAKA AKSIJALNO OPTEREĆENIH ŠTAPOVA OSTVARENIH ZAVRTNJEVIMA (proračun prema aksijalnoj sili zatezanja)

- Neophodnost spajanja elemenata u konstrukcionu celinu;
- Nastavci – spojevi elemenata istih ili sličnih dimenzija;
- Veze – spojevi različitih elemenata konstrukcije;

Montažni nastavci i veze

Na dimenzije montažnih komada utiču:

- gabariti transportnih sredstava ($L_{tr}=12,5$ m);
- kapacitet sredstava za podizanje;
- specifični uslovi montaže (nepristupačni predeli,...);



Mogu se ostvariti:

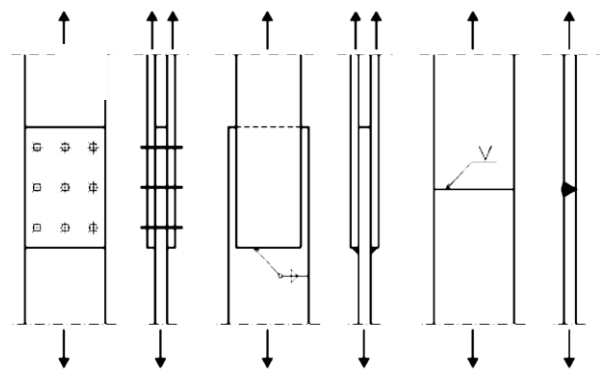
- Pomoću zavrtnjeva;
- U zavarenoj izradi (ugaoni ili sućeoni šavovi);

Proračun montažnog nastavaka štapa

Prema merodavnoj sili:

- zatezanja (N_t) ili
- pritiska (N_c).

Prema površini poprečnog preseka (statički pokriven nastavak štapa);



Potrebno je proveriti (dimenzionisati) sve elemente koji učestvuju u prenošenju sile.

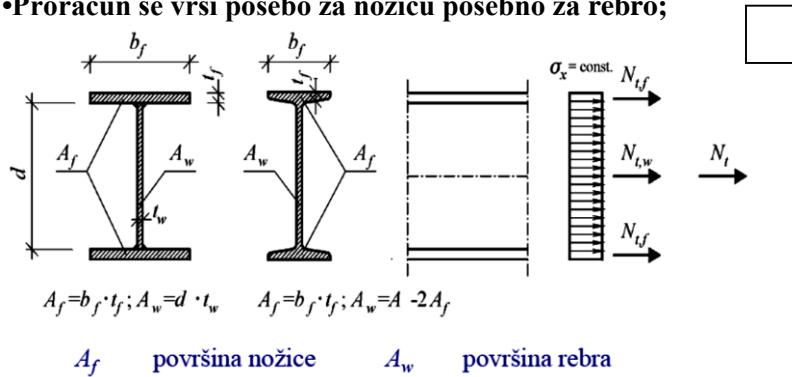
Tri koraka pri proračunu:

- kontrola napona u oslabljenom preseku i ojačanje preseka kod zavarenih profila;

- proračun podvezica;
- proračun broja zavrtnjeva;

Raspodela sile zatezanja N_t

- Sila se deli srazmerno površini poprečnog preseka na nožice i rebro;
- Proračun se vrši posebno za nožicu posebno za rebro;



U nožici:

$$N_{t,f} = N_t \cdot \frac{A_f}{A}$$

U rebro:

$$N_{t,w} = N_t \cdot \frac{A_w}{A} = N_t - 2N_{t,f}$$

Proračun nastavka nožice

Određivanje prečnika spojnog sedstva (d_0, t_s, \min);

Određivanje broja zavrtnjeva u jednom redu (po širini nožice);

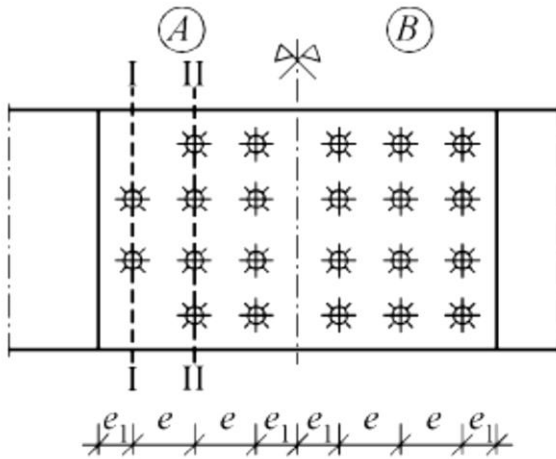
Kontrola napona u oslabljenom preseku:

$$\sigma_x = \frac{N_{t,f}}{A_{f,net}} \leq \sigma_{dop}$$

$$A_{f,net} = A_f - \Delta A_f = (b_f - n_{f,1} \cdot d_{0,f}) \cdot t_f$$

Merodavan presek

Za kontrolu napona, odnosno ojačanje profila merodavan je neto presek na mestu prvog, ili eventualno drugog reda zavrtnjeva, ukoliko je broj zavrtnjeva u drugom redu veći nego u prvom;

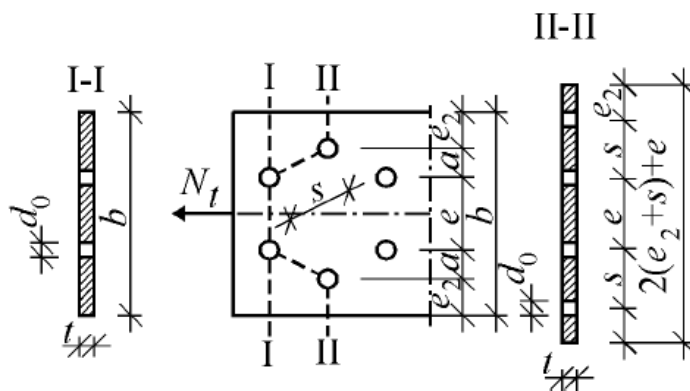


$$\sigma = \frac{N_t^I}{A_{net}^I} = \frac{N_t}{(b - 2d_0) \cdot t}$$

$$\sigma = \frac{N_t^{II}}{A_{net}^{II}} = \frac{8/10 N_t}{(b - 4d_0) \cdot t}$$

Merodavan presek –smaknut raspored

Ako su zavrtnjevi u smaknutom rasporedu takođe treba analizirati i izlomljen “cik-cak”presek;

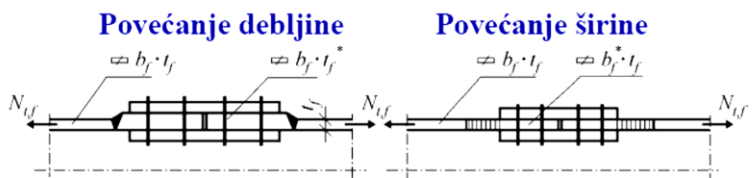


$$A_{net}^I = (b - 2 \cdot d_0) \cdot t$$

$$A_{net}^{II} = (e + 2 \cdot e_2 + 2 \cdot s - 4 \cdot d_0) \cdot t$$

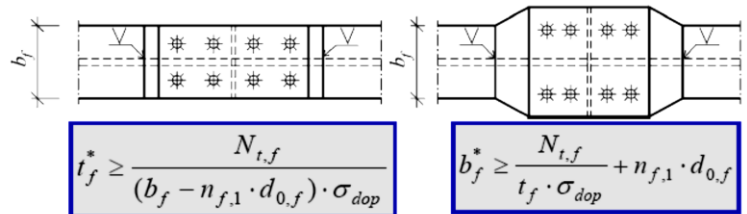
Ojačanje nožice kod zavarenih profila:

$$A_{f,net} \geq \frac{N_{t,f}}{\sigma_{dop}}$$



Proračun podvezica

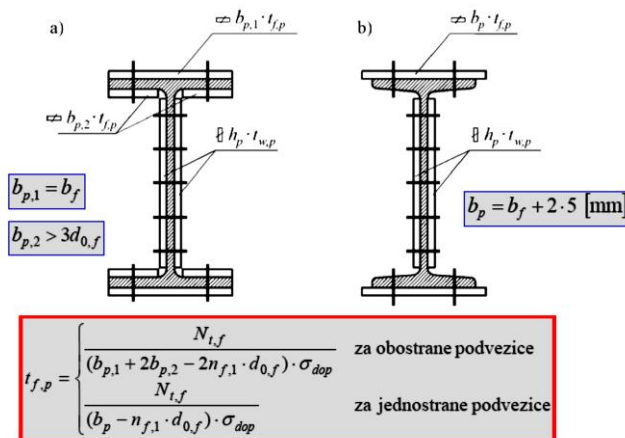
- Dimenzionisanje podvezica se vrši prema merodavnom neto poprečnom preseku;
- Merodavan je uvek presek kroz poslednji red zavrtnjeva uz prekid elementa;



- Podvezice mogu da budu jednostrane (IPN) ili obostrane (IPE, HEA, HEB, zavareni profili);
- Dimenzije (debljina) podvezica određuju se iz naponskog uslova:

$$\sigma_x = \frac{N_{t,f}}{A_{f,p,net}} \leq \sigma_{dop}$$

Određivanje debljine podvezica na nožicama:



Proračun broja zavrtnjeva:

$$n_f \geq \frac{N_{t,f}}{F_{f,dop}}$$

n_f ukupan potreban broj zavrtnjeva na jednoj nožici

$$F_{f,dop} = \begin{cases} F_{v,dop} & \text{za obične i visokovredne zavrtnjeve bez sile pritezanja} \\ F_{s,dop} & \text{za prednapregnute visokovredne zavrtnjeve} \\ F_{vs,dop} & \text{za upasovane prednapregnute visokovredne zavrtnjeve} \end{cases}$$

Proračun nastavka rebra

- Sve kontrole su iste kao kod nastavka nožice:
 - Kontrola oslabljenog, neto preseka na mestu veze,
 - Dimenzionisanje podvezica,
 - Određivanje potrebnog broja zavrtnjeva.
- Posebno treba odrediti prečnik zavrtnjevana rebru, kao i njihov raspored po visini rebra (broj zavrtnjeva u jednom redu);

Kontrola napona u oslabljenom preseku i ojačanje rebra:

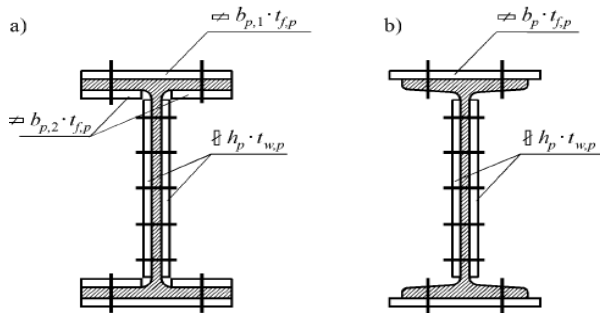
$$\sigma_x = \frac{N_{t,w}}{A_{w,net}} \leq \sigma_{dop}$$

Ojačanje rebra povećanjem njegove debljine:

$$t_w^* \geq \frac{N_{t,w}}{(d - n_{w,1} \cdot d_{0,w}) \cdot \sigma_{dop}}$$

d visina rebra

Dimenzioniranje podvezica na rebru:



$$\sigma_x = \frac{N_{t,w}}{A_{w,p,net}} \leq \sigma_{dop}$$

$$A_{w,p,net} = 2(h_p - n_{w,1} \cdot d_{0,w}) \cdot t_{w,p}$$

h_p visina podvezica

$$t_w^* \geq \frac{N_{t,w}}{(d - n_{w,1} \cdot d_{0,w}) \cdot \sigma_{dop}}$$

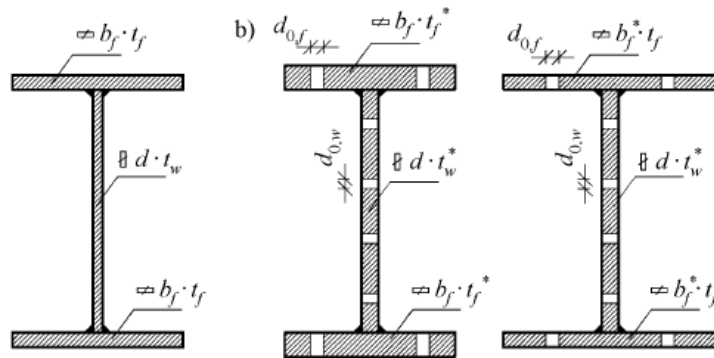
Proracun broja zavrtnjeva:

$$n_w \geq \frac{N_{t,w}}{F_{w,dop}}$$

n_w ukupan potreban broj zavrtnjeva na rebru

$$F_{w,dop} = \begin{cases} F_{v,dop} & \text{za obične i visokovredne zavrtnjeve bez sile pritezanja} \\ F_{s,dop} & \text{za prednapregnute visokovredne zavrtnjeve} \\ F_{vs,dop} & \text{za upasovane prednapregnute visokovredne zavrtnjeve} \end{cases}$$

Kontrola čitavog preseka



Kontrola napona u
oslabljenom preseku:

$$\sigma_x = \frac{N_t}{A_{net}} \leq \sigma_{dop}$$

Kontrola napona u
podvezicama:

$$\sigma_x = \frac{N_t}{A_{p,net}} \leq \sigma_{dop}$$

Kontrola nosivosti
zavrtnjeva:

$$n_{f,uk} \cdot F_{f,dop} + n_{w,uk} \cdot F_{w,dop} \geq N_t$$

12. PRORAČUN I KONSTRUISANJE MONTAŽNIH NASTAVAKA AKSIJALNO OPTEREĆENIH ŠTAPOVA OSTVARENIH ZAVRTNJEVIMA (proračun prema površini poprečnog preseka - statički pokriven nastavak štapa)
13. PRORAČUN I KONSTRUISANJE ZGLOBNIH VEZA (PODELA I OSNOVNE PRETPOSTAVKE PRORAČUNA)
14. PRORAČUN I KONSTRUISANJE KRUTIH VEZA (PODELA I OSNOVNE PRETPOSTAVKE PRORAČUNA)
15. PRORAČUN STABILNOSTI AKSIJALNO PRITISNUTIH ŠTAPOVA KONSTANTNOG JEDNO-DELNOG POPREČNOG PRESEKA PREMA JUS U.E7.081/1986
16. REŠETKASTI NOSAČI (primena i podele, osnovna pravila za konstruisanje)

