

## PROJEKTOVANJE VEZA I NASTAVAKA

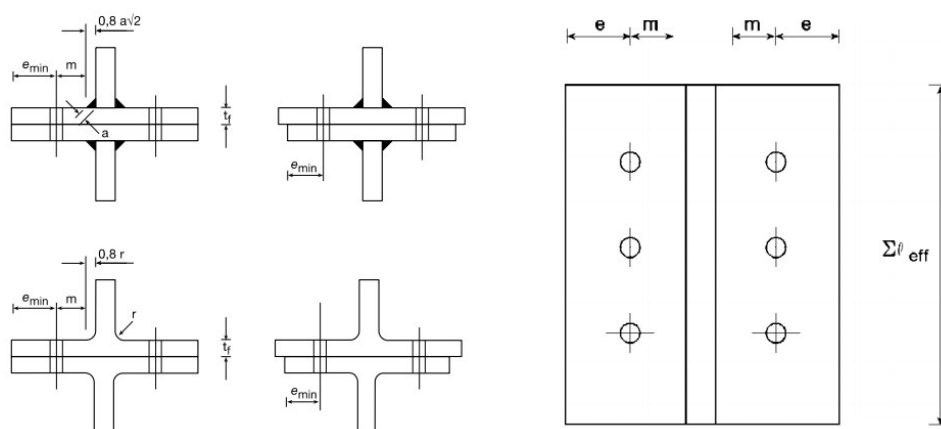
### - šesti dio

#### Proračunska nosivost osnovnih komponenti veze – Uvod

##### Ekvivalentni zategnuti T-element

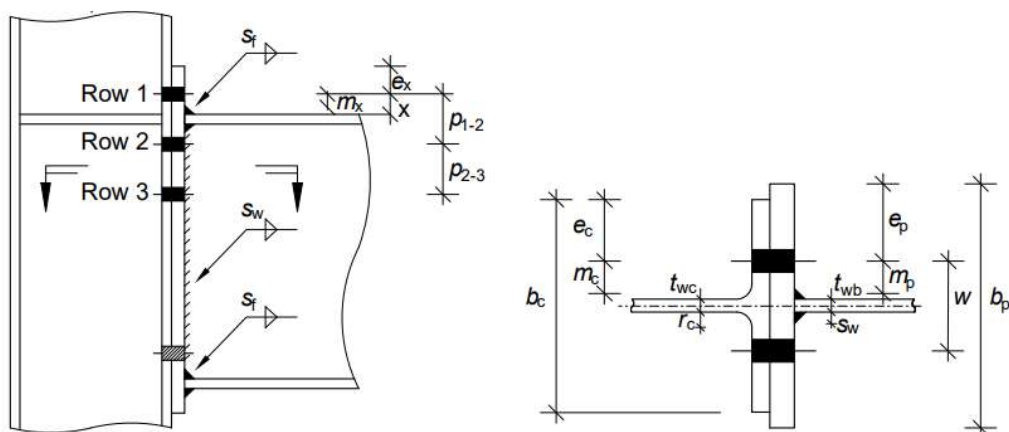
- Da bi se sračunale proračunske nosivosti komponenti veze:
  - nožice stuba opterećene savijanjem (komponenta 4),
  - čelone ploče opterećene savijanjem (komponenta 5),
  - nožice priključnog ugaonika opterećene savijanjem (komponenta 6),
  - ležišne ploče opterećene savijanjem usljed zatezanja (komponenta 15),

koristi se zategnuti T-element, spojen sa nožicom stuba, koji najpribližnije opisuje modele loma ovih komponenti veze (sljedeća slika). Može se, znači, pretpostaviti da su mogući oblici loma nožice ekvivalentnog T-elementa slični modelima loma čija se pojava očekuje u osnovnim komponentama koje T-element predstavlja.



- Osnovne dimenzije ekvivalentnog T-stuba, koje se koriste za proračun nosivosti, date su na prethodnoj slici. Kada se analiziraju konkretne komponente veze ove dimenzije, detaljno su prikazane na sljedećoj slici.

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 11



gdje je:

**za čeonu ploču:**

$$m_p = \frac{w}{2} - \frac{t_{wb}}{2} - 0.8s$$

$$e_p = \frac{b_p}{2} - \frac{w}{2}$$

$$s = \sqrt{2} a$$

**za nožicu stuba:**

$$m_c = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0.8r_c$$

$$e_c = \frac{b_c}{2} - \frac{w}{2}$$

**za prepust čeone ploče:**

$$m_x = x - 0.8s_f$$

**ispod nožica ili ukrućenja:**

$m_2$  je dimenzija adekvatna  $m_x$ , ali ispod nožice ili ukrućenja, tj. razdaljina od nožice ili ukrućenja do prvog reda zavrtnjeva, umanjena za 0.8 s.

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

#### ostale dimenzije:

$w$	horizontalni (osovinski) razmak između zavrtnjeva;
$b_p$	širina čelone ploče;
$b_c$	širina nožice stuba;
$t_{wb}$	debljina rebra grede;
$t_{wc}$	debljina rebra stuba;
$s$	projekcija debljine šava $a$ , tj. širina šava u osnovi ( $s_f$ i $s_w$ su širine šava na nožici i rebru);
$r_c$	poluprečnik zaobljenja valjanog profila (ako je stub zavareni profil, tada umjesto $r_c$ treba koristiti $s$ ).

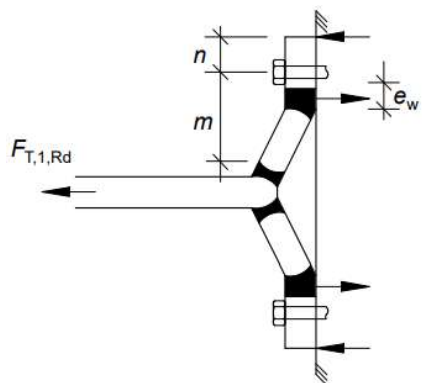
- Proračunska nosivost ekvivalentnog T-elementa na zatezanje treba da se sračuna posebno za nožicu stuba, a posebno za čelonu ploču. Proračunska nosivost se dobija na osnovu postupaka datih u sljedećoj tabeli.

	Sile usljed efekta poluge mogu se pojaviti, to jest $L_b \leq L_b^*$		Nema sila usljed efekta poluge
<b>Oblik 1</b>	Metoda 1	Metoda 2 (alternativna metoda)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Bez kontra pločica	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
Sa kontra pločicama	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
<b>Oblik 2</b>	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m+n}$		
<b>Oblik 3</b>	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

- Na osnovu oblika loma 1, 2 i 3, potrebno je doći do najmanje sile loma, tj. proračunske nosivosti. Oblici loma su mogući gubici nosivosti ekvivalentnog zategnutog T-elementa.
- Oblik loma 1** predstavlja potpunu plastifikaciju nožice T-elementa, sa karakteristične četiri linije tečenja dužine  $\Sigma l_{eff}$ :

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11



- U zavisnosti od dužina izduženja zavrtnja  $L_b$ , mogu se pojaviti sile usljed efekta poluge na krajevima nožice. Dužina izduženja zavrtnja, jednaka je steznoj dužini (ukupna debljina limova i podloški) plus polovini zbira visine glave zavrtnja i visine navrtke. Kod oslonačke veze stuba, dužina izduženja anker zavrtnja jednaka je sumi osmostrukog nominalnog prečnika zavrtnja, sloja materijala za podlivanje, debljine ploče, podloške i polovine visine navrtke. Da li treba uzimati u obzir sile usljed efekta poluge zavisi od uslova da li je dužina izduženja zavrtnja (ankera) veća ili manja od uporedne dužine  $L_b^*$ . Ako je veća, veće će biti izduženje zavrtnja, pa će se odvojiti nožica od čeone ploče i neće biti efekta poluge. Ako je manja, manje će biti izduženje zavrtnja, pa će nožica i čeona ploča ostati priljubljene i treba računati sa dodatnom silom istezanja usljed efekta poluge.
- Uporedna dužina izduženja  $L_b^*$  se daje kao:

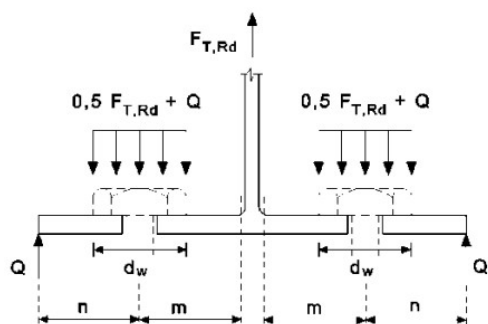
$$L_b^* = \frac{8,8m^3 A_s n_b}{\sum \ell_{eff,i} t_f^3}$$

gdje je:

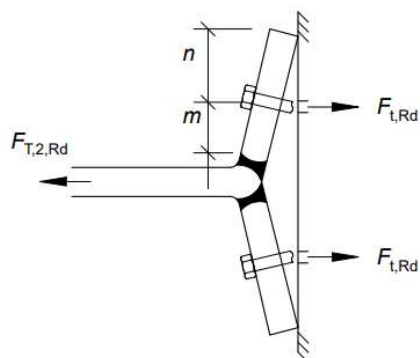
$n_b$  broj redova zavrtnjeva (sa po 2 zavrtnja u redu).

- Kod oblika loma 1 uvodi se alternativna metoda 2, u kojoj se pretpostavlja da je sila koje djeluje na nožicu T-elementa preko zavrtnja ravnomjerno raspoređena ispod podloške, glave zavrtnja ili navrtke (vidjeti sljedeću sliku), umjesto da je koncentrisana u težišnoj osi zavrtnja. Ovakva pretpostavka dovodi do većih vrijednosti nosivosti za oblik loma 1, dok vrijednosti za  $F_{T,1-2,Rd}$  i oblike loma 2 i 3 ostaju nepromijenjene.

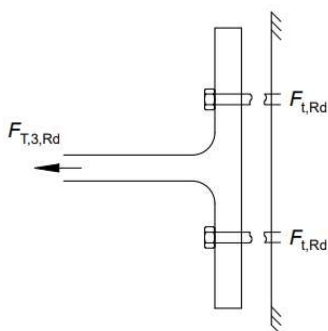
ČELIČNE KONSTRUKCIJE II  
**PREDAVANJE 11**



- **Oblik loma 2** predstavlja lom zavrtneža na zatezanje, praćen plastifikacijom nožice T-elementa, sa karakteristične dvije linije tečenja dužine  $\Sigma l_{eff}$ :



- **Oblik loma 3** predstavlja lom zavrtneža na zatezanje:



## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

- U prethodnoj tabeli, koriste se sljedeća obilježavanja:

$F_{T,Rd}$  proračunska nosivost nožice T-elementa na zatezanje, koja predstavlja najmanju vrijednost između  $F_{T,1,Rd}$ ,  $F_{T,2,Rd}$  (ili  $F_{T,1,2,Rd}$  ako nema sila usljed efekta poluge) i  $F_{T,3,Rd}$ ;

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{bp,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$$

proračunski plastični momenti nosivosti nožice T-elementa za oblik loma 1, oblik loma 2 i za kontra pločicu (back plate);

$F_{t,Rd}$  proračunska nosivost zavrtnja na zatezanje;

$\Sigma F_{t,Rd}$  zbir vrijednost  $F_{t,Rd}$  za sve zavrtnjeve na T-elementu;

$n = e_{min}$   $e_{min}$  je prikazano na slici ekvivalentnog T-elementa na početku ovog poglavlja, a na slici konkretne veze gređa-stub  $n$  je manja vrijednost između  $e_c$  i  $e_p$  - na kraju, treba da je ispunjen i uslov  $n \leq 1,25 m$  (gdje je  $m$  definisano, takođe ranije na slikama);

$t_f$  debljina nožice ekvivalentnog T-elementa;

$t_{bp}$  debljina kontra pločice;

$f_{y,bp}$  granica razvlačenja kontra pločica;

$e_w = d_w/4$  prikazano na jednoj od prethodnih slika;

$d_w$  prečnik podloške ili širina duž tačaka glave ili navrtke zavrtnja (takođe prikazano na jednoj od prethodnih slika).

$\Sigma \ell_{eff,1}$  je vrijednost  $\Sigma \ell_{eff}$  za oblik 1;

$\Sigma \ell_{eff,2}$  je vrijednost  $\Sigma \ell_{eff}$  za oblik 2;

za ekvivalentni zategnuti T-element ove vrijednosti predstavljaju dužinu T-elementa, odnosno  $\Sigma \ell_{eff}$ , kao što je prikazano na prvoj slici ovog poglavlja;

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 11

međutim, kada se analiziraju konkretne komponente veze, recimo greda-stub sa zavrtnjevima i čeonom pločom, tada  $\Sigma l_{eff,1}$  i  $\Sigma l_{eff,2}$  predstavljaju stvarne dužine linija tečenja analizirajući jedan red zavrtnjeva ili grupu zavrtnjeva;

ove linije tečenja mogu biti pravolinijske, kružne ili kombinacija jednih i drugih linija;

na sljedećoj slici prikazani su neki realni oblici loma sa linijama tečenja:

Table 2.2 Effective lengths $\ell_{eff}$ for equivalent T-stubs for bolt row acting alone			
<p>(a) Pair of bolts in an unstiffened end plate extension</p> <p>Note: Use <math>m_x</math> in place of <math>m</math> and <math>e_x</math> in place of <math>n</math> in the expressions for <math>F_{T,1,Rd}</math> and <math>F_{T,2,Rd}</math>.</p>			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	Circular yielding $\ell_{eff,cp} = 2\pi m_x$		Double curvature $\ell_{eff,nc} = \frac{b_p}{2}$
	Individual end yielding $\ell_{eff,cp} = \pi m_x + 2e_x$		Individual end yielding $\ell_{eff,nc} = 4m_x + 1.25e_x$
	Circular group yielding $\ell_{eff,cp} = \pi m_x + w$		Corner yielding $\ell_{eff,nc} = 2m_x + 0.625e_x + e$
			Group end yielding $\ell_{eff,nc} = 2m_x + 0.625e_x + \frac{w}{2}$

kada se analizira lom oko pojedinačnih zavrtnjeva (redova zavrtnjevana) ili grupe susjednih redova zavrtnjeva, mogu se prepoznati različiti oblici loma, što rezultira različitim dužinama  $l_{eff}$ , a time i različitim nosivostima tih redova zavrtnjeva, prema oblicima loma 1 i 2 (o ovome će detaljnije biti riječi u nastavku).

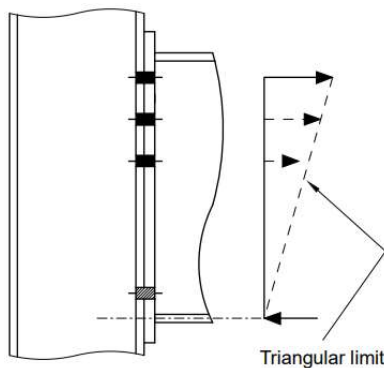
- Može se pretpostaviti da se kod veza greda-stub sa čeonom pločom ili nastavaka greda čeonom pločom, javljaju sile usljed efekta poluge, bez prethodne provjere.

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

#### *Pojedinačni redovi zavrtnjeva, grupe zavrtnjeva i grupe redova zavrtnjeva*

- Iako su kod nožica ekvivalentnog T-elementa sile u svakom redu zavrtnjeva uglavnom jednake, kod realnih komponenti veze to nije slučaj. Ako je realna veza opterećena momentom savijanja, treba pretpostaviti približno trougaonu raspodjelu napreznja u redovima zavrtnjeva. Zavrtnjevi u redu koji je najviše udaljen od centra rotacije su najopterećeniji (sljedeća slika).



- Međutim, prema teoriji plastičnosti, ako je moguć duktilan lom viših redova, onda i u nižim redovima može da se razvije puna sila zatezanja.
- Prema tome kada se nožica ekvivalentnog T-elementa koristi za modeliranje osnovnih komponentata treba uzeti u obzir razlike u silama svakog reda zavrtnjeva.
- Efektivna proračunska nosivost redova zavrtnjeva, ne zavisi samo od proračunske nosivosti zavrtnjeva na zatezanje (Oblik 3 – ekvivalentni T-element), već i od krutosti komponenti spoja i mogućeg razvoja linija plastifikacije u elementima veze (Oblici 2 i 3). Tako se proračunska nosivost redova zavrtnjeva ograničava i minimalnom nosivošću komponenti veze:
  - nožice stuba opterećene savijanjem (komponenta 4),
  - čelone ploče opterećene savijanjem (komponenta 5),
  - nožice priključnog ugaonika opterećene savijanjem (komponenta 6),
  - ležišne ploče opterećene savijanjem usljed zatezanja (komponenta 15),
  - rebro stuba opterećeno poprečnim zatezanjem (komponenta 3),
  - rebro grede opterećeno zatezanjem (komponenta 8),
- Dodatno, nosivost grupe nekoliko susjednih redova zavrtnjeva može biti manja od zbira nosivosti pojedinačnih redova. Ovo se dešava zbog mogućnosti razvoja više različitih oblika loma i različitih dužina tečenja  $l_{eff}$ , koje treba pojedinačno ispitati.



## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

- Procedura proračuna nosivosti podrazumijeva da se prvo sračuna nosivost svakog reda zavrtnjeva  $F_{ri}$ . Za karakteristični spoj greda-stub sa čeonom pločom i tri reda zategnutih zavrtnjeva (prikazan na ranijoj slici), treba sračunati  $F_{r1}$ ,  $F_{r2}$  i  $F_{r3}$ , počevši od najgornjeg reda. U ovoj fazi analizira se samo pojedinačni red, ignorišući prisustvo ostalih redova. Analiziraju se sve relevantne komponente veze navedene gore i sve moguće varijante loma sa odgovarajućim linijama tečenja i dužinama linija  $l_{eff}$  ekvivalentnog T-elementa. Efektivna proračunska nosivost pojedinačnog reda zavrtnjeva je najmanja sila loma koja se sračuna.
- Zatim treba sračunati nosivost analizirajući mogući lom grupe redova zavrtnjeva, koristeći istu proceduru. Treba usvojiti  $l_{eff}$  ekvivalentnog T-elementa za grupu redova zavrtnjeva, prema odgovarajućim linijama tečenja. Proračunska nosivost je najniža sila loma koja se sračuna, od mogućih varijanti loma i za sve relevantne komponente veze.
- Ako su redovi zavrtnjeva razdvojeni nožicom ili ukrućenjem, nije moguć lom grupe redova i u tim slučajevima nosivost grupe redova zavrtnjeva se ne analizira.
- Za grupe redova zavrtnjeva koji nisu razdvojeni nožicom ili ukrućenjem, usvaja se da najgornji red ima punu nosivost kao zaseban red, a svi niži redovi koji se pridodaju grupi mogu samo dodatno pridonijeti nosivosti kao grupi.
- To se radi na sljedeći način:

$F_{t1,Rd}$  nosivost reda 1 zasebno (najviši red);

$F_{t2,Rd}$  manja vrijednost od:  
nosivost reda 2 zasebno;  
nosivost grupe redova 2 + 1 umanjena za  $F_{t1,Rd}$ ;

$F_{t3,Rd}$  najmanja vrijednost od:  
nosivost reda 3 zasebno;  
nosivost grupe redova 3 + 2 umanjena za  $F_{t2,Rd}$ ;  
nosivost grupe redova 3 + 2 + 1 umanjena za  $F_{t2,Rd} + F_{t1,Rd}$ .

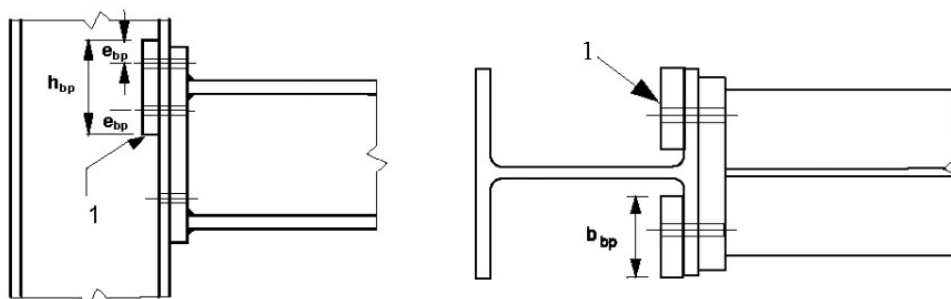
- Ukoliko lom bilo kog reda zavrtnjeva nije duktilan, efektivna nosivost svih nižih redova treba da se dodatno redukuje po trougaonoj raspodjeli (biće više riječi kasnije).

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

#### Kontra pločice

- U slučajevima tanke nožice stuba, moguće je povećati nosivost za oblik loma 1, korišćenjem kontra pločica (sljedeća slika).



- Svaka kontra pločica treba da se pruža barem do ivice nožice stuba i do 3 mm od početka zaobljenja između rebra i nožice, ili od šava.
- Kontra pločica treba da ispuni i sljedeće geometrijske uslove:

$$h_{bp} \geq \sum l_{eff,1}$$

$$e_{bp} \geq 2d$$

#### Ekvivalentni pritisnuti T-element

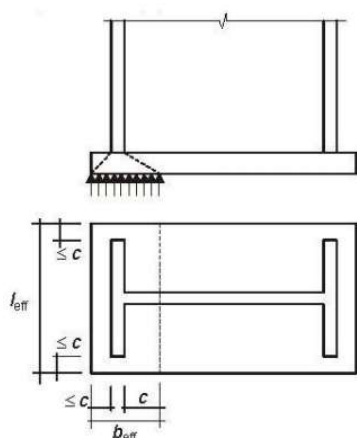
- U vezama između čelika i betona, pritisnuta nožica ekvivalentnog T-elementa može da se koristiti za modeliranje proračunske nosivosti za kombinacije sljedećih osnovnih komponenata:
  - ležišne ploče opterećene savijanjem usljed pritiska (komponenta 14),
  - beton i/ili materijal za podlivanje veze opterećeni pritiskom (komponenta 13),
- Pretpostavlja se da se sile pritiska prenose kroz T-element ravnomjerno, onako kako je to prikazano na sljedećoj slici pod (a) i (b).
- Ugao rasprostiranja sile pritiska kroz ekvivalentni T-element definiše dimenziju  $c$ , koja ne treba biti veća od:

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 11

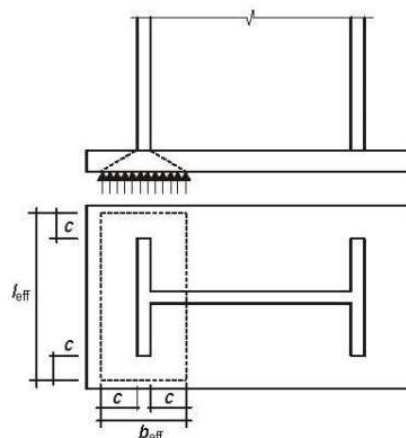
$$c = t \left[ f_y / (3f_{jd} \gamma_{M0}) \right]^{0.5}$$

gdje je:

$t$             debljina nožice T-elementa;  
 $f_y$             granica razvlačenja nožice T-elementa;  
 $f_{jd}$             proračunska čvrstoća veze na kontakti pritisak.



(a) Kratka projekcija



(b) Široka projekcija

- Pritisak na rezultujuću kontaktnu površinu ne treba da pređe proračunski kontakti pritisak  $f_{jd}$ .
- Prema tome, proračunsku nosivost nožice T-elementa na pritisak  $F_{C,Rd}$  treba odrediti kako slijedi:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff}$$

gdje je:

$b_{eff}$             efektivna širina nožice T-elementa;  
 $l_{eff}$             efektivna dužina nožice T-elementa.

- Kada je projekcija fizičke dužine osnovne komponente veze koja je predstavljena T-elementom manja od veličine  $c$ , onda efektivna površina treba da bude uzeta kako je prikazano na prethodnoj slici (a).

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

- Proračunsku čvrstoću na kontaktni pritisak  $f_{jd}$  treba odrediti iz:

$$f_{jd} = \beta_j F_{Rdu} / (b_{eff} l_{eff})$$

gdje je:

$\beta_j$  koeficijent za materijal za fundiranje veze, koji može da se uzme da je jednak 2/3, pod uslovom da karakteristična čvrstoća materijala za podlivanje nije manja od 0,2 puta karakteristične čvrstoće betonskih temelja i da debljina materijala za podlivanje nije veća od 0,2 puta najmanje širine čelične ležišne ploče. U slučajevima kada je debljina materijala za podlivanje veća od 50 mm, karakteristična čvrstoća materijala za podlivanje treba da bude najmanje jednaka čvrstoći betona temelja;

$F_{Rdu}$  proračunska nosivost na koncentrisanu silu koja je data u EN 1992: Projektovanje betonskih konstrukcija, gdje  $A_{c0}$  treba uzeti kao  $(b_{eff} l_{eff})$ .

### *Proračunska nosivost osnovnih komponenti veze*

#### *Smičuće polje rebra stuba (komponenta 1)*

- Metode proračuna nosivosti osnovnih komponenti veze, koji se daju u cijelom ovom poglavlju, važe pod uslovom da vitkost rebra stuba zadovoljava uslov:

$$d_c / t_w \leq 69 \varepsilon.$$

- Za jednostranu vezu ili za dvostranu vezu kod koje su visine greda slične, proračunska plastična nosivost neukrućenog polja rebra stuba  $V_{wp,Rd}$  izloženog dejstvu proračunske smičuće sile  $V_{wp,Ed}$ , treba da se odredi koristeći:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

gdje je:

$A_{vc}$  smičuća površina stuba (vidi smicanje u prošlom semestru).

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

- Proračunska nosivost na smicanje može se povećati primjenom ukrućenja ili dodatnih limova na rebro.
- Kada se postavljaju poprečna ukrućenja na rebro i u zoni pritiska i u zoni zatezanja, proračunska plastična smičuća nosivost polja rebra stuba  $V_{wp,Rd}$  može se povećati za vrijednost  $V_{wp,add,Rd}$  koja je data sa:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s}$$

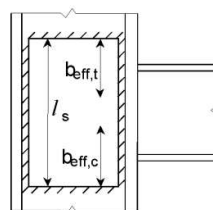
ali

$$V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

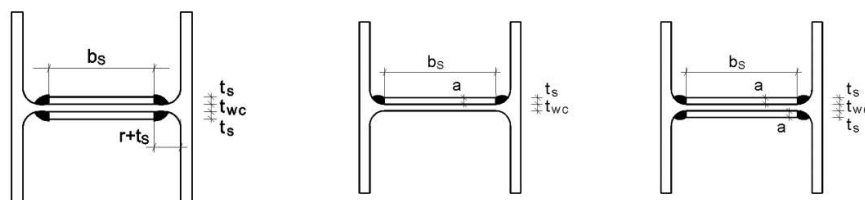
gdje je:

- $d_s$  rastojanje između osovina ukrućenja;
- $M_{pl,fc,Rd}$  proračunski plastični moment nosivosti nožice stuba;
- $M_{pl,st,Rd}$  proračunski plastični moment nosivosti ukrućenja.

- Kada je rebro stuba ojačano dodatnim limom, vidjeti sljedeću sliku, onda površina smicanja  $A_{vc}$  može da se poveća za  $b_s t_{wc}$ . Ako se dodatni lim postavi i sa druge strane rebra, onda ne treba dodatno povećavati smičuću površinu (tj. maksimalno povećanje je  $b_s t_{wc}$ ).



a) Izgled



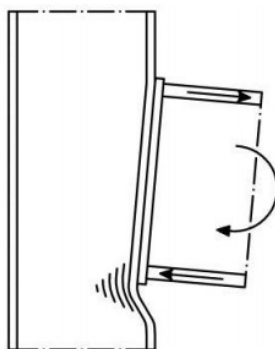
- Dodatni limovi na rebro mogu se takođe koristiti kako bi se povećala rotaciona krutost veze.

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

- Klasa čelika dodatnog lima na rebru treba da bude ista kao klasa čelika stuba.
- Šavove između dodatnog lima na rebru i profila treba proračunati da prihvate proračunske sile koje na njih djeluju.
- Širina  $b_s$  treba da bude takva da dodatni lim na rebru doseže najmanje do početka zaobljenja između rebra i nožice, ili do šava. Dužina  $l_s$  treba da bude takva da dodatni lim na rebru obuhvata efektivne širine rebra stuba u zoni zatezanja i pritiska. Debljina dodatnog lima na rebru  $t_s$  ne treba da bude manja od debljine rebra stuba  $t_{wc}$ .
- Širina dodatnog lima na rebru  $b_s$  treba da bude manja od  $40 \varepsilon t_s$  (što može prouzrokovati da  $t_s > t_{wc}$ ).

*Rebro stuba opterećeno poprečnim pritiskom (komponenta 2)*



- Proračunska nosivost neukrućenog rebra stuba izloženog dejstvu poprečnog pritiska treba odrediti iz:

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

ali

$$F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$$

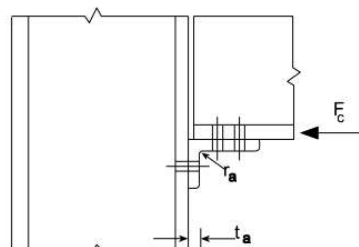
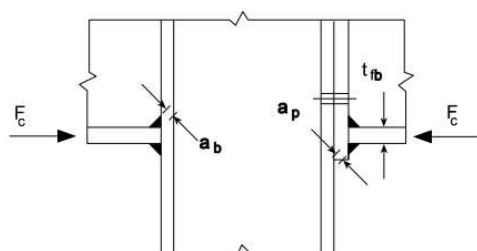
# ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

## PREDAVANJE 11

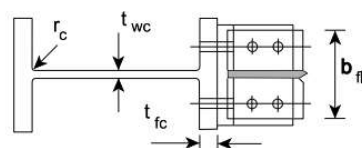
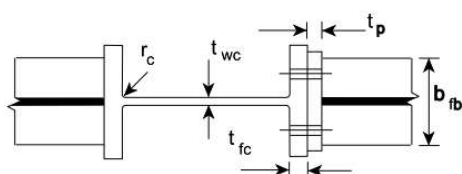
Zavarena veza

Veza sa čeonom pločom

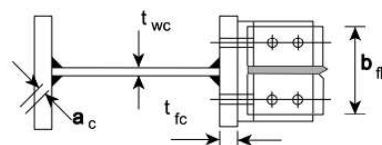
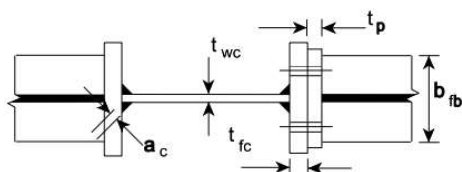
Veza sa priključnim ugaonicima na nožici



a) Izgled



b) Stub valjanog presjeka



c) Stub zavarenog presjeka

gdje je:

$\omega$  faktor redukcije pomoću koga se uzimaju u obzir mogući efekat interakcije sa smicanjem u polju rebra stuba, prema sljedećoj tabeli;

$b_{\text{eff},c,wc}$  efektivna širina rebra stuba u zoni pritiska:

za zavareni spoj:

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s)$$

gdje su dimenzije obilježene na prethodnoj slici;

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

za spoj sa čeonom pločom i zavrtnjevima:

$$b_{\text{eff,c,wc}} = t_{\text{fb}} + 2\sqrt{2} a_{\text{p}} + 5(t_{\text{fc}} + s) + s_{\text{p}}$$

$s_{\text{p}}$  je dužina dobijena prostiranjem kroz čeonu ploču pod uglom od  $45^\circ$  (najmanje  $t_{\text{p}}$  i do  $2t_{\text{p}}$  pod uslovom da je dužina čeone ploče ispod nožice dovoljna);

za spoj sa priključnim ugaonicima na nožicama spojenim zavrtnjevima:

$$b_{\text{eff,c,wc}} = 2t_{\text{a}} + 0,6r_{\text{a}} + 5(t_{\text{fc}} + s)$$

$s = r_{\text{c}}$  za valjane I ili H presjeke stuba;

$s = \sqrt{2}a_{\text{c}}$  za zavarene I ili H presjeke stuba;

$\rho$  je faktor redukcije za izbočavanje limova:

ako je:

$$\bar{\lambda}_{\text{p}} \leq 0,72 \quad \rho = 1,0$$

ako je:

$$\bar{\lambda}_{\text{p}} > 0,72 \quad \rho = (\bar{\lambda}_{\text{p}} - 0,2) / \bar{\lambda}_{\text{p}}^2$$

$\bar{\lambda}_{\text{p}}$  je vitkost lima na izbočavanje:

$$\bar{\lambda}_{\text{p}} = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff,c,wc}} d_{\text{wc}} f_{\text{y,wc}}}{Et_{\text{wc}}^2}}$$

za valjani I ili H presjek stuba:

$$d_{\text{wc}} = h_{\text{c}} - 2(t_{\text{fc}} + r_{\text{c}})$$

za zavareni I ili H presjek stuba:

$$d_{\text{wc}} = h_{\text{c}} - 2(t_{\text{fc}} + \sqrt{2}a_{\text{c}})$$



## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

Parametar za transformaciju $\beta$		Faktor redukcije $\omega$	
$0$	$\leq \beta \leq 0,5$	$\omega$	$= 1$
$0,5$	$< \beta < 1$	$\omega$	$= \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta$	$= 1$	$\omega$	$= \omega_1$
$1$	$< \beta < 2$	$\omega$	$= \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta$	$= 2$	$\omega$	$= \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{ve})^2}}$		$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{ve})^2}}$	
$A_{ve}$	je smičuća površina stuba, vidjeti 6.2.6.1;		
$\beta$	je parametar za transformaciju, vidjeti 5.3(7).		

$k_{wc}$  je faktor redukcije:

kada je:

$$\sigma_{\text{com,Ed}} \leq 0,7 f_{y,wc} : k_{wc} = 1$$

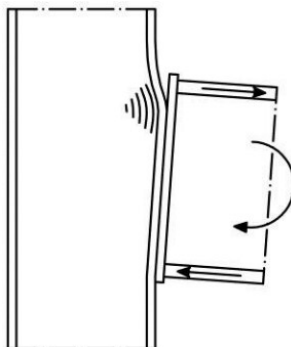
kada je:

$$\sigma_{\text{com,Ed}} > 0,7 f_{y,wc} : k_{wc} = 1,7 - \sigma_{\text{com,Ed}} / f_{y,wc}$$

U opštem slučaju, faktor redukcije  $k_{wc}$  je 1,0 i nije neophodna redukcija. Zato, on može da se izostavi u preliminarnim proračunima kada je podužni napon nepoznat i provjerava se naknadno.

- Ukrućenja ili dodatni limovi na rebro mogu se koristiti za povećanje nosivosti rebra stuba na dejstvo poprečnog pritiska.

*Rebro stuba opterećeno poprečnim zatezanjem (komponenta 3)*



## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

- Proračunska nosivost neukrućenog rebra stuba koje je izloženo djelovanju poprečnog zatezanja treba da se odredi iz:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

gdje je:

$\omega$  faktor redukcije pomoću koga se uzima u obzir interakcija sa smicanjem u polju rebra stuba;

$b_{\text{eff},t,wc}$  efektivna širina zategnutog rebra stuba:

za zavareni spoj:

$$b_{\text{eff},t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s)$$

gdje su dimenzije obilježene na slici u prethodnom podpoglavlju;

$s = r_c$  za valjane I ili H presjeke stuba;

$s = \sqrt{2} a_c$  za zavarene I ili H presjeke stuba;

- Za spoj sa zavrtnjevima treba uzeti da je efektivna širina zategnutog rebra stuba  $b_{\text{eff},t,wc}$  jednaka efektivnoj dužini ekvivalentnog T-elementa kojim je predstavljena nožica stuba, vidjeti sljedeće podpoglavlje (komponenta 4).
- Faktor redukcije  $\omega$  kojim se uzimaju u obzir mogući efekti smicanja u polju rebra stuba treba odrediti iz prethodne tabele, korišćenjem vrijednosti  $b_{\text{eff},t,wc}$ , umjesto  $b_{\text{eff},c,wc}$ .
- Ukrućenja ili dodatni limovi na rebu mogu da se koriste za povećanje proračunske nosivosti rebra stuba na zatezanje.


## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

### PREDAVANJE 11

#### Nožica stuba opterećena poprečnim savijanjem (komponenta 4)

##### 1. Neukručena nožica stuba

- Proračunsku nosivost i oblik loma neukručene nožice stuba usljed poprečnog savijanja, zajedno sa odgovarajućim zavrtnjevima opterećenim na zatezanje, treba uzeti slično kao kod nožice ekvivalentnog T-elementa i to za:
  - svaki pojedinačni red zavrtnjeva koji prenosi zatezanje;
  - svaku grupu redova zavrtnjeva koja prenosi zatezanje.
- Efektivna dužina nožice ekvivalentnog T-elementa  $l_{eff}$  treba da se odredi za pojedinačni red zavrtnjeva i grupu zavrtnjeva, na osnovu vrijednosti datih za svaki red zavrtnjeva u sljedećoj tabeli.

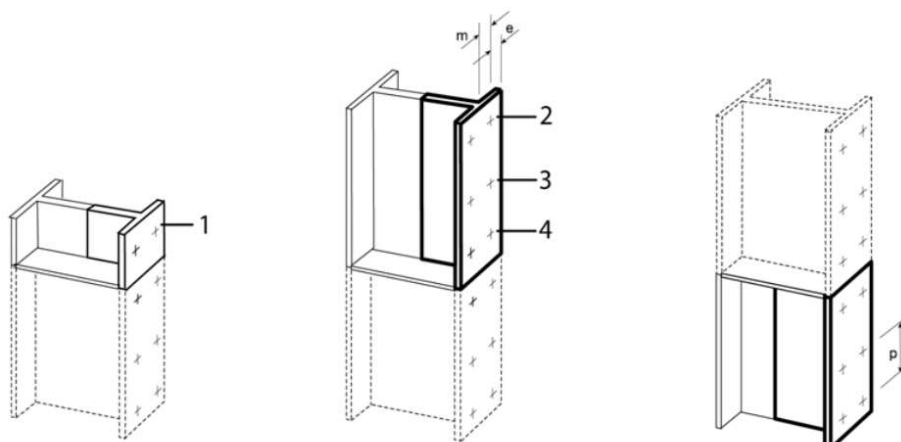
Položaj reda zavrtnjeva	Red zavrtnjeva posmatran pojedinačno		Red zavrtnjeva posmatran kao dio grupe redova zavrtnjeva	
	Kružni raspored $l_{eff,ep}$	Raspored različit od kružnog $l_{eff,nc}$	Kružni raspored $l_{eff,ep}$	Raspored različit od kružnog $l_{eff,nc}$
Unutrašnji red zavrtnjeva	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Krajnji red zavrtnjeva	Manja vrijednost od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manja vrijednost od: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Manja vrijednost od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manja vrijednost od: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Oblik 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ali $l_{eff,1} \leq l_{eff,ep}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ ali $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,ep}$	
Oblik 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	
$e_1$ je rastojanje od centra spojnih sredstava u krajnjem redu do susjedne slobodne ivice nožice stuba mjereno u pravcu ose profila stuba (vidjeti redove 1 i 2 na slici 6.9). 				

##### 2. Ukručena nožica stuba

- Poprečna ukrućenja i/ili odgovarajući raspored dijagonalnih ukrućenja mogu se koristiti za povećanje proračunske nosivosti nožice stuba na savijanje.
- Kao i kod neukručene nožice i u slučaju ukručene nožice proračunska nosivost se određuje pomoću nožice ekvivalentnog T-elementa za svaki pojedinačni red zavrtnjeva i svaku grupu redova zavrtnjeva koja prenosi zatezanje.

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 11

- Grupni redovi zavrtnjeva sa svake strane ukrućenja treba modelirati kao odvojene ekvivalentne nožice T-elementa, vidjeti sljedeću sliku. Proračunsku nosivost i oblik loma treba odrediti posebno za svaki ekvivalentni T-element.



- 1 krajnji red zavrtnjeva uz ukrućenje
- 2 krajnji red zavrtnjeva
- 3 unutrašnji red zavrtnjeva
- 4 red zavrtnjeva do ukrućenja

- Efektivne dužine nožice ekvivalentnog T- elementa  $l_{eff}$  treba odrediti za svaki red zavrtnjeva prema sljedećoj tabeli (vrijednosti  $\alpha$  se daju na dijagramu u nastavku).

Položaj reda zavrtnjeva	Red zavrtnjeva posmatran pojedinačno		Red zavrtnjeva posmatran kao dio grupe redova zavrtnjeva	
	Kružni raspored $l_{eff,cp}$	Raspored različit od kružnog $l_{eff,nc}$	Kružni raspored $l_{eff,cp}$	Raspored različit od kružnog $l_{eff,nc}$
Red zavrtnjeva do ukrućenja	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Ostali unutrašnji redovi zavrtnjeva	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Ostali krajnji redovi zavrtnjeva	Manja vrijednost od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manja vrijednost od: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Manja vrijednost od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manja vrijednost od: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Krajnji red zavrtnjeva do ukrućenja	Manja vrijednost od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	Nije mjerodavno	Nije mjerodavno
za oblik 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ali $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ ali $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
za oblik 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	
$\alpha$ treba odrediti sa slike 6.11.				
$e_1$ je rastojanje od centra spojnih sredstava u krajnjem redu do susjednog ukrućenja nožice stuba, mjereno u pravcu ose profila stuba (vidjeti redove 1 i 4 na slici 6.9).				