

SMICANJE

- Elastični napon smicanja ima paraboličnu promjenu po visini rebra i određuje se kao:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}$$

gdje je:

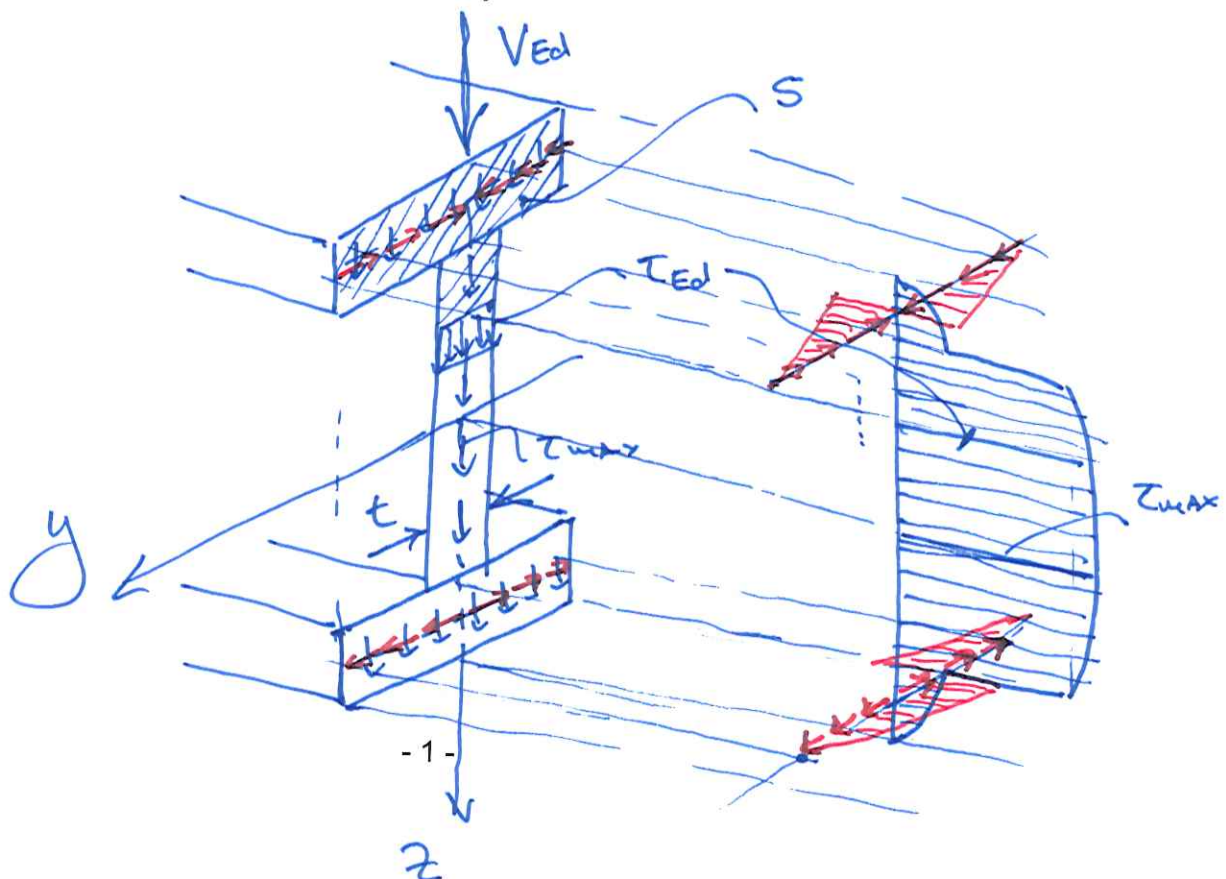
V_{Ed} proračunska vrijednost sile smicanja,

S statički moment oko težišne ose dijela poprečnog presjeka između tačke u kojoj se određuje smicanje i ivice poprečnog presjeka,

I moment inercije čitavog poprečnog presjeka,

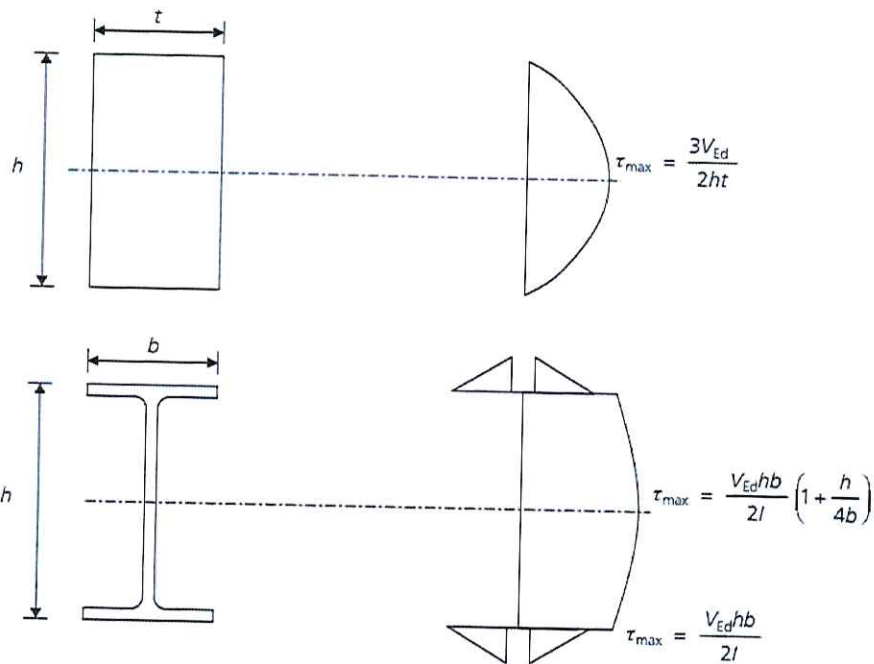
t debljina u razmatranoj tački.

crtež



ČELIČNE KONSTRUKCIJE I
 PREDAVANJE 07

- Primjer: smičući napon kod pravougaonog presjeka i kod I presjeka sa istom debljinom nožice i rebra.



- Za I ili H presjeke, kada je opterećenje paralelno rebru, napon smicanja u rebru može da se odredi kao:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \quad \text{ako je} \quad A_f / A_w \geq 0,6$$

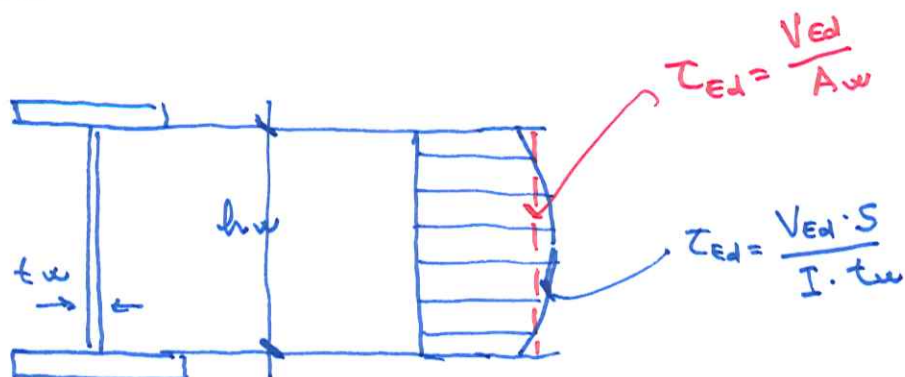
gdje je:

A_f površina jedne nožice,

A_w površina rebra: $A_w = h_w t_w$.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

crtež

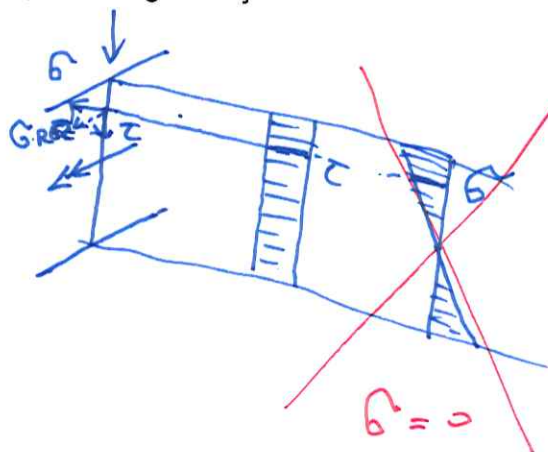


- Kako povezati smičući napon i normalni napon na granici razvlačenja?
Polazi se od izraza za Von Mises-ov uslov plastičnog tečenja:

$$\sigma_{\text{von-Mises}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

formule

$$\sigma_{\text{von-Mises}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$



formule

$$\sqrt{3} \cdot \tau \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\tau \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

- U nastavku se prikazuje postupak proračuna poprečnog presjeka, koji treba sprovesti, kada je poprečni presjek izložen smicanju.
- Proračunska vrijednost sile smicanja V_{Ed} u svakom poprečnom presjeku mora da zadovolji uslov:

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I
 PREDAVANJE 07

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

- $V_{c,Rd}$ je proračunska nosivost na smicanje.
- Za plastični proračun $V_{c,Rd}$ je proračunska plastična nosivost na smicanje $V_{pl,Rd}$. Ukoliko nema torzije, proračunska plastična nosivost na smicanje se određuje kao:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

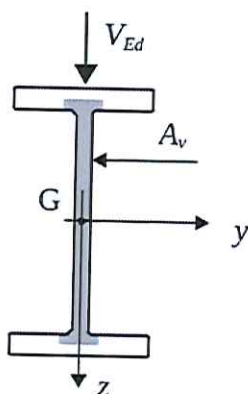
gdje je:

A_v površina smicanja.

Površina smicanja A_v se može odrediti na sljedeći način:

- Valjani I i H presjeci, opterećenje paralelno rebru

$$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w$$



- Valjani U presjeci, opterećenje paralelno rebru

$$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

- Valjani T presjek, opterećenje paralelno rebru

$$A_v = A - bt_f + (t_w + 2r) \frac{t_f}{2}$$

- Zavareni T presjek, opterećenje paralelno rebru

$$A_v = t_w \left(h - \frac{t_f}{2} \right)$$

- Zavareni I, H i sandučasti presjeci, opterećenje paralelno rebru

$$\eta \sum (h_w t_w)$$

- zavareni I, H, U i sandučasti presjeci, opterećenje paralelno nožicama

$$A - \sum (h_w t_w)$$

- Valjani šuplji pravougaoni presjek konstantne debljine, opterećenje paralelno visini

$$Ah / (b + h)$$

- Valjani šuplji pravougaoni presjek konstantne debljine, opterećenje paralelno širini

$$Ab / (b + h)$$

- Šuplji kružni presjeci i cijevi konstantne debljine

$$2A / \pi$$

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

gdje je:

A	površina poprečnog presjeka;
b	ukupna širina;
h	ukupna visina;
h_w	visina rebra (između nožica);
r	poluprečnik zaobljenja;
t_f	debljina nožice;
t_w	debljina rebra (ako debljina rebra nije konstantna, za t_w se usvaja najmanja debljina);
η	parametar koji se definiše u MEST EN 1993-1-5, konzervativno se može usvojiti $\eta = 1.0$.

- Površina smicanja je geometrijski podatak koji se daje u tablicama standardnih profila.
- Za elastični proračun i provjeru proračunske elastične nosivosti na smicanje $V_{c,Rd}$, može se primijeniti sljedeći kriterijum za kritičnu tačku poprečnog presjeka:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3}\gamma_{M0})} \leq 1,0$$

- Elastični smičući napon τ_{Ed} se može odrediti prema izrazu o kome smo prethodno već pričali:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}$$

- Proračunska elastična nosivost je na strani sigurnosti u odnosu na proračunsku plastičnu nosivost na smicanje.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

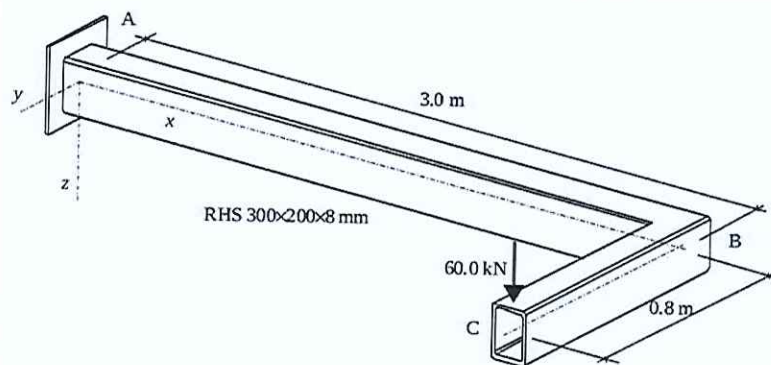
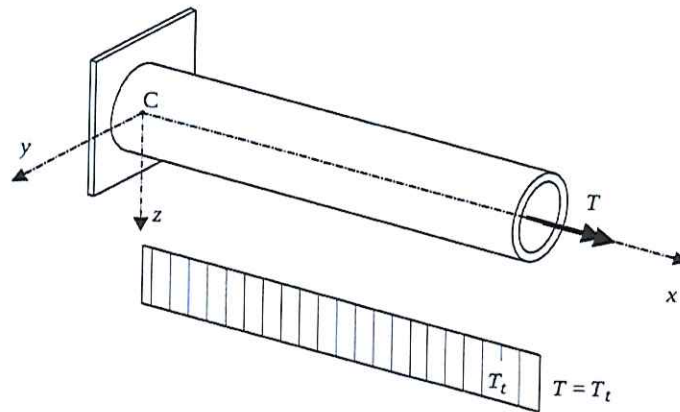
- Da bi bili sigurni da se neće desiti izbočavanje rebra smicanjem, potrebno je zadovoljiti uslov koji je definisan u MEST EN 1993-1-5:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

- Rupe za spojna sredstva ne treba uzimati u obzir pri provjeri smicanja. Izuzetak je kada se provjerava proračunska nosivost na smicanje zona spoja. O ovome će biti riječi kada se budu obrađivali spojevi (MEST EN 1993-1-8).
- Kada smičuća sila djeluje u kombinaciji sa momentom torzije, plastična nosivost na smicanje $V_{pl,Rd}$ treba da se redukuje. O ovome će se više reći već na sljedećem predavanju kada će se obraditi torzija.

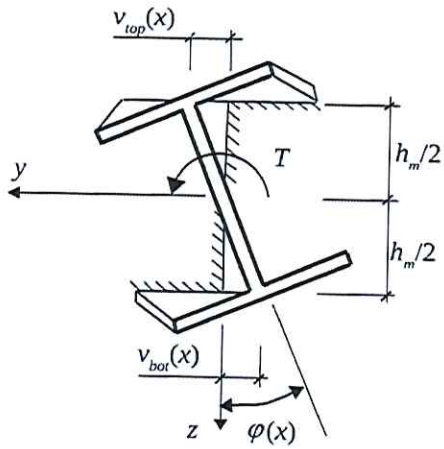
TORZIJA

- Torzija predstavlja uzdužnu rotaciju (uvrtanje) elementa kao posljedica dejstva torzionog momenta.

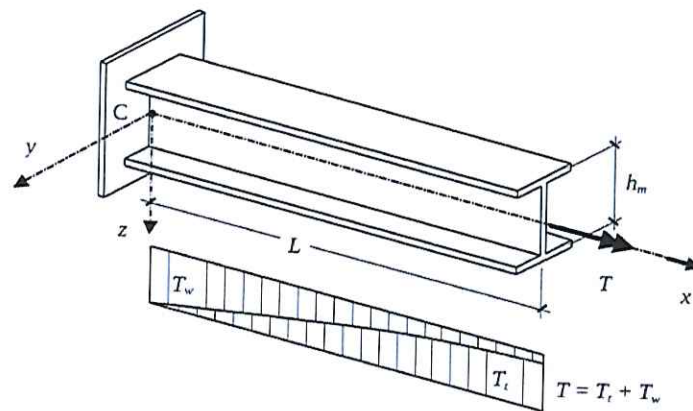


- Ovakva deformacija izaziva u poprečnim presjecima smičuće naprezanje (smičući napon), ali u nekim slučajevima i podužno naprezanje (normalni napon).
- Samo smičuće naprezanje se dešava ako je na krajevima elemenata dozvoljeno krivljenje (deplanacija ili distorzija) poprečnog presjeka. U suprotnom, a to je gotovo uvijek slučaj, tj. sprječavaju se deformacije krivljenja ili torzioni moment nije konstantan duž elementa, pojaviće se i normalni naponi u presjecima.

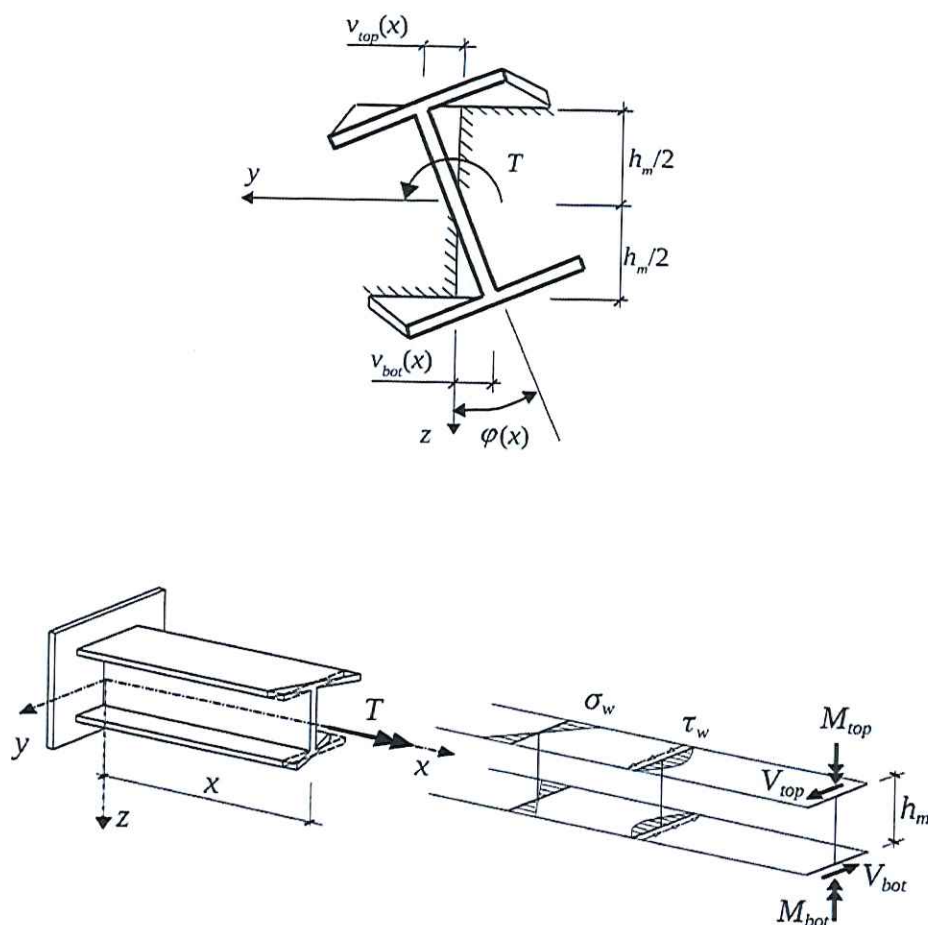
ČELIČNE KONSTRUKCIJE I
PREDAVANJE 07



- Torzija u kojoj su prisutni samo smičući naponi se naziva uniformna torzija ili St. Venant-ova torzija, dok se torzija u kojoj se dešavaju i normalni naponi pored smičućih, naziva ne-uniformna torzija ili ograničena torzija (warping torsion).



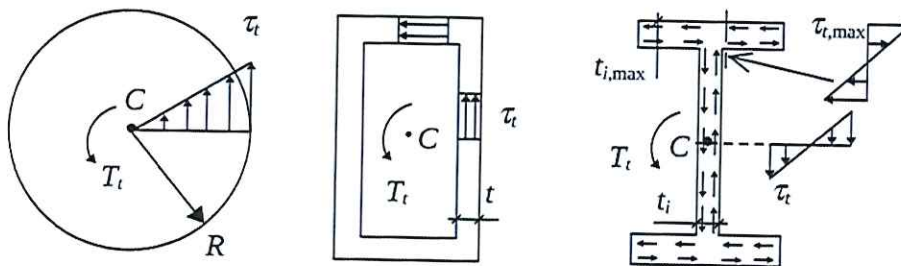
ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07



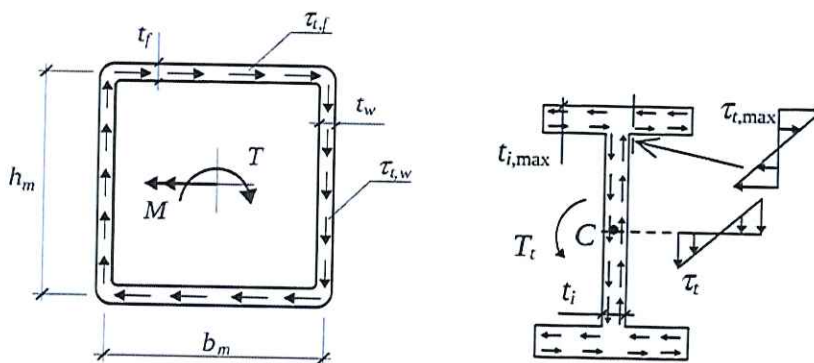
- Kod poprečnih presjeka kružnog oblika, zbog kružne simetrije i poklapanja centra smicanja sa težištem, dešava se samo uniformna torzija.
- Kod tankozidnih zatvorenih poprečnih presjeka (CHS, SHS i RHS), koji su najmanje osjetljivi na torziju, predominantna je uniformna torzija. Kod analize ovih poprečnih presjeka ograničena torzija se obično zanemaruje i analiziraju se samo smičući naponi.
- Kod tankozidnih otvorenih poprečnih presjeka (I, H ... presjeci), uniformna torzija se dešava samo ako je na osloncima obezbijeđena deformacija krivljenja poprečnog presjeka i ako je momenat torzije konstantan duž elementa. U suprotnom, ako na osloncima nije dozvoljeno krivljenje (uobičajena situacija) ili torzioni momenat nije konstantan, u elementu je prisutna ne-uniformna ili ograničena torzija.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

- U slučajevima ograničene torzije potrebno je razdvojiti dio torzionog momenta uniformne torzije i dio torzionog momenta ne-uniformne torzije.
- U ovom kursu, analiza ne-uniformne torzije se razmatra samo na nivou fenomena.
- Interesantno je, da je priroda smičućih napona različita, kada se analizira uniformna torzija, kod punih i tankozidnih zatvorenih i otvorenih presjeka.

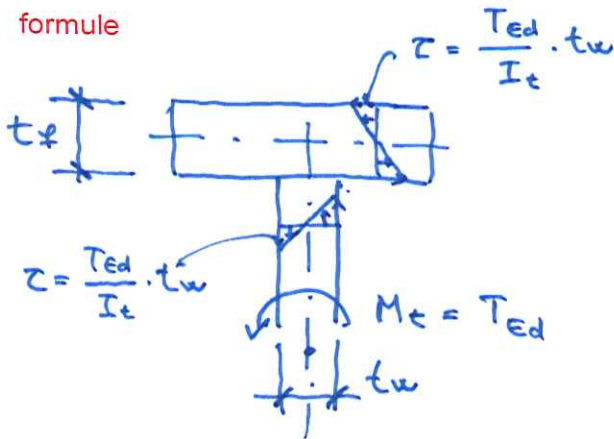


- Kod realnih konstruktivnih elemenata izloženih torziji, gotovo uvijek imamo istovremeno prisutne smičuće napone usljed transverzalnih sila i smičuće napone usljed torzionog momenta. Maksimalni smičući napon treba odrediti sabiranjem ovih napona u mjerodavnim tačkama porečnog presjeka. Drugi način proračuna se daje u nastavku.
- Plastičnu nosivost poprečnog presjeka treba odrediti upoređivanjem maksimalnog smičućeg napona sa Von Misesovim naponom plastičnog tečenja za slučaj kada je normalni napon jednak nuli.



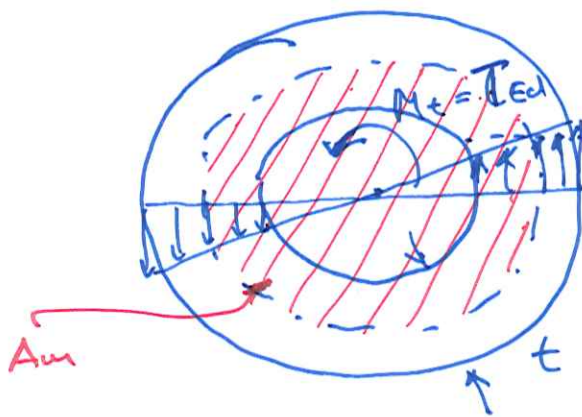
ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

formule



$$\tau_{min} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \sigma_{M_0}} = \frac{T_{Rd}}{I_t} \cdot t_w \Rightarrow T_{Rd} \downarrow$$

$$\tau_{max} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \sigma_{M_0}} = \frac{T_{Rd}}{I_t} \cdot t_y \Rightarrow T_{Rd} \uparrow$$



$$\tau = \frac{T_{Ed}}{W_t} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_m \cdot t}$$

$$\tau_{max} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \sigma_{M_0}} = \frac{T_{Rd}}{2 \cdot A_m \cdot t} \Rightarrow T_{Rd}$$

- U nastavku se prikazuje postupak proračuna poprečnog presjeka, koji treba sprovesti, kada je poprečni presjek izložen torziji.
- Za elemente koji su izloženi dejstvu torzije, proračunska vrijednost momenta torzije T_{Ed} u svakom poprečnom presjeku treba da zadovolji uslov:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

- T_{Rd} je proračunska nosivost poprečnog presjeka na torziju.
- Ukupan moment torzije T_{Ed} u bilo kom poprečnom presjeku treba da se uzme kao zbir dva unutrašnja uticaja:

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 07

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed}$$

gdje je:

$T_{t,Ed}$ proračunska vrijednost momenta usljed St. Venant-ove torzije i

$T_{w,Ed}$ proračunska vrijednost momenta usljed ograničene torzije.

- Vrijednosti $T_{t,Ed}$ i $T_{w,Ed}$ u bilo kom poprečnom presjeku mogu da se odrede iz T_{Ed} elastičnom analizom, uzimajući u obzir karakteristike poprečnog presjeka elementa, uslove pridržavanja na osloncima i raspodjelu dejstava duž elementa.
- Kao što je već rečeno, kao pojednostavljenje, u slučaju elementa sa zatvorenim šupljim poprečnim presjekom, može se pretpostaviti da su uticaji ograničene torzije zanemarljivi. Takođe, kao pojednostavljenje, u slučaju elementa otvorenog poprečnog presjeka, kao što su I ili H, može se pretpostaviti da se uticaji St. Venant-ove torzije mogu zanemariti.
- Za kombinovano dejstvo sile smicanja i momenta torzije, plastična nosivost na smicanje treba da se redukuje sa $V_{pl,Rd}$ na $V_{pl,T,Rd}$ da bi se uzeli u obzir uticaji torzije, a proračunska sila smicanja treba da zadovolji uslov:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1,0$$

gdje $V_{pl,T,Rd}$ može da se odredi na sljedeći način:

- za I ili H presjek:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I
PREDAVANJE 07

- za U presjek:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} \right] V_{pl,Rd}$$

- za šuplji presjek:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd}$$

gdje je plastična nosivost na smicanje $V_{pl,Rd}$ data u proračunu za smicanje.