

DRVENE KONSTRUKCIJE 2

**(6. semestar studija smera za konstrukcije na
Građevinskom odseku)**

**Štapovi složenog poprečnog preseka (ŠSPP)
(18.-25. maj 2020.)**

Štapovi složenog poprečnog preseka

Osnovne odlike ovakvih štapova su: sastavljeni su od dva ili više štapova monolitnih preseka; štapovi su međusobno vezani mehaničkim spojnim sredstvima; usled deformacije štapa – savijanja, izvijanja ili početne imperfekcije nastaje popuštanje spojnih sredstava u spojnim ravnima. Popustljivost spojnih sredstava bitno utiče na

raspodelu (distribuciju) napona i dilatacija po visini preseka, tako da se ovaj uticaj ne može zanemariti.

Popustljivost mehaničkih spojnih sredstava uvodi se u račun preko modula popustljivosti C [kN/cm], gde je:

$$C = \frac{N}{\delta} = \frac{\text{silna koja pripada jednom spojnemu sredstvu}}{\text{pomeranje koje nastaju usled sile } N}$$

Diferencijalne jednačine izvijanja štapova složenog preseka (Sl. 2.65)

Geometrijska relacija: $\delta + u = a_1 \cdot \frac{dw}{dx}$

Elementarna sila koja pripada elementu dužine dx je:

$$dN_1 = t_f \cdot dx, \quad \text{odnosno} \quad dN_1 = \frac{C}{e'} \delta \cdot dx$$

Sila koja pripada dužini štapa x je:

$$\int_0^x dN_1 = \int_0^x t_f \cdot dx, \quad \text{ili integraljenjem}$$

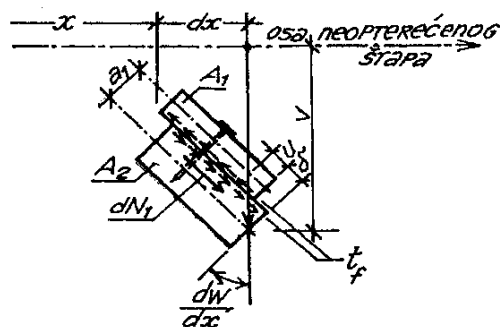
$$N_1 = \frac{C}{e'} \int_0^x \delta \cdot dx$$

Promena dužine štapa na osnovu HOOKE-ovog zakona

$$du/dx = -N_1/E A_1$$

Diferenciranjem gornje jednačine dobija se

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{dN_1}{dx} \cdot \frac{1}{E A_1} = -\frac{C}{e'} \cdot \delta \cdot \frac{1}{E A_1}$$

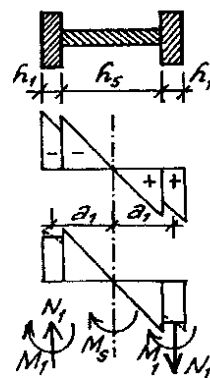


Slika 2.65.

odakle je: $\delta = \frac{d^2 u}{dx^2} \cdot \frac{e'}{C} \cdot E \cdot A_1$, odnosno

$$-\frac{d^2 u}{dx^2} \cdot \frac{e'}{C} \cdot E A_1 + u = a_1 \cdot \frac{dw}{dx}$$

ŠTAP I PRESEKA



Slika 2.66.

Iz prethodnih jednačina dobija se

$$E A_1 \cdot \frac{e'}{C} \cdot \frac{d^2 u}{dx^2} + a_1 \frac{dw}{dx} - u = 0.$$

Nepoznate veličine su pomeranja u i w .

Za štap I preseka (Sl. 2.66.)

moment spoljnih sila

$$M = F \cdot w,$$

moment u preseku

$$M_x = 2 M_1 + M_s + 2 a_1 N_1,$$

uslov ravnoteže

$$F \cdot w = 2 M_1 + M_s + 2 a_1 N_1.$$

Diferencijalna jednačina elastične linije:

$$E (2 I_1 + I_s) \cdot \frac{d^2 w}{dx^2} + 2 a_1 E A_1 \cdot \frac{du}{dx} + F \cdot w = 0$$

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{M}{EI}; \quad \frac{du}{dx} = -\frac{N_1}{E A_1}$$

Sistem diferencijalnih jednačina po nepoznatim veličinama $w(x)$ i $u(x)$:

- granični uslovi

$$x = 0 \Rightarrow w = 0 \quad \frac{du}{dx} = 0$$

$$x = l/2 \Rightarrow \frac{dw}{dx} = 0 \quad u = 0$$

- rešenja

Štapovi složenog poprečnog preseka

$$w = w_0 \sin \frac{\pi x}{l}; \quad u = u_0 \cos \frac{\pi x}{l} \quad (\text{Sl. 2.67});$$

Zamenom funkcije w i u , u sistemu napred datih diferencijalnih jednačina dobija se sistem homogenih linearnih jednačina

$$\begin{aligned} (E \cdot A_1 \cdot \frac{e'}{C} \cdot \frac{\pi^2}{l^2} + 1) \cdot u_0 - a_1 \cdot \frac{\pi}{l} \cdot w_0 &= 0 \\ -2 a_1 \cdot E \cdot A_1 \cdot \frac{\pi}{l} \cdot u_0 + [F - E(2 I_1 + I_s) \cdot \frac{\pi^2}{l^2}] \cdot w_0 &= 0 \end{aligned}$$

Sistem ima netrivialna rešenja samo ako je determinanta sistema $D=0$.

$$D = \begin{vmatrix} E A_1 \frac{e'}{C} \frac{\pi^2}{l^2} + 1 & a_1 \frac{\pi}{l} \\ -2 a_1 E A_1 \frac{\pi}{l} & F - E(2 I_1 + I_s) \frac{\pi^2}{l^2} \end{vmatrix} = 0,$$

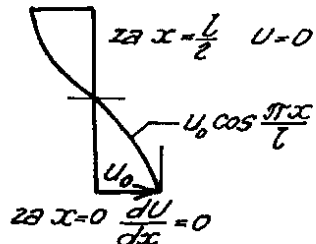
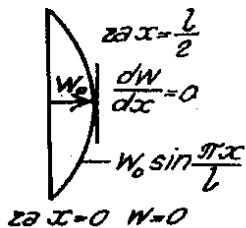
odakle se dobija:

$$F = F_k = E \cdot \frac{\pi^2}{l^2} \left[(2 I_1 + I_s) + \frac{2 a_1^2 \cdot A_1}{1 + E A_1 \cdot \frac{e'}{C} \cdot \frac{\pi^2}{l^2}} \right], \text{ gde je}$$

$$I_f = (2 I_1 + I_s) + \frac{2 a_1^2 \cdot A_1}{1 + E A_1 \cdot \frac{e'}{C} \cdot \frac{\pi^2}{l^2}},$$

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C},$$

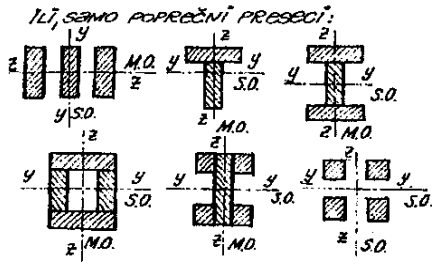
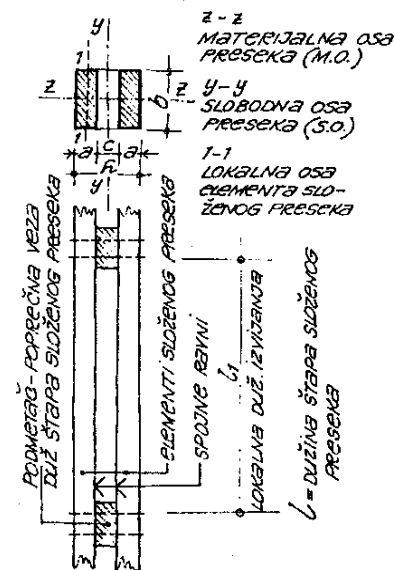
odnosno $\gamma = \frac{1}{1+k} \Rightarrow I_f = 2 I_1 + I_s + 2 \gamma a_1^2 A_1.$



Slitka 2.67.

2.6.7.1. Pritisnuti štapovi složenog preseka

Štapovi složenog preseka, po definiciji, su oni štapovi koji su sastavljeni iz dva ili više prostih preseka, sl. 2.67. U idealno pravim štapovima složenog preseka, opterećenih aksijalnom pritiskajućom silom N , teorijski posmatrano, spojna sredstava u spojnim ravninama su neopterećena, odnosno pritiskajuća sila prenosi se samo preko elementa složenog preseka. Međutim to nije tako, jer usled nemišne početne krivine štapa, moguće ekscentričnosti i evidentno prisutne anizotropije drveta kao i mogućih grešaka u drvetu i uvek prisutih nedostataka prilikom građenja - redovan je slučaj da su pojedini elementi složenog preseka više opterećeni, preopterećeni na račun drugih. Dužinom štapa javljaju se pomeranja u vezama, odnosno javljaju se sile u spojnim ravninama, na mestima gde su elementi preseka povezani u celinu. Drugim rečima, kod složenih preseka pritisnutih štapova mora da se računa sa pomerljivošću u vezama, sa prisutnom činjenicom neravnomernog prenošenja pritiskajuće sile preko elementa složenog preseka.



Slitka 2.68.

napred navedeno upućuje ne činjenicu da se štapovi složenog preseka s obzirom na moguću pomerljivost u spojnim ravninama - mogu računati kao štapovi prostog preseka ali sa uzimanjem u račun popustljivosti spojnih sredstava (Sl. 2.69). Usled pomeranja spojnih sredstava u spojnim ravninama javljaju se smičuće sile (t_f) koje se moraju na adekvatan način preuzeti odgovarajućim spojnim sredstvima (postojanje smičućih sila u spojnim ravninama je posledica savijanja štapa, odnosno uticaja transverzalne sile Q).

Iz prednjeg razloga proračun štapova složenog preseka je nešto drugačiji od napred izloženog. Prilikom ovog pro-

Štapovi složenog poprečnog preseka

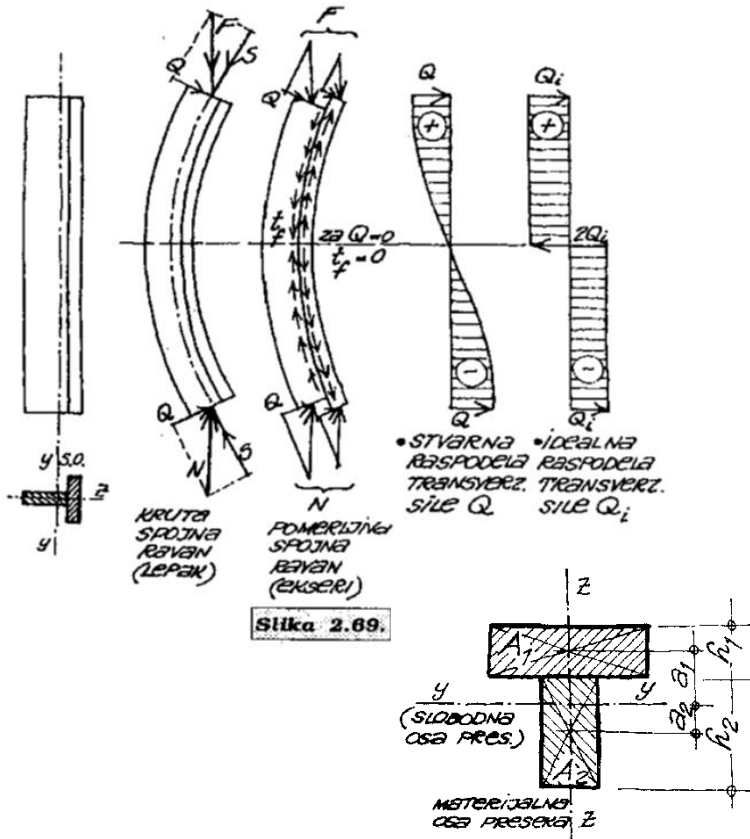
računa, čije su osnove identične proračunu prostih preseka, mora posebna pažnja da se obrati na popustljivost spojnih sredstava u ravni oko koje se vrši savijanje štapa, u ravni u kojoj se manifestuje popustljivost-pomerljivost spojnih sredstava.

Za izvijanje štapova oko **materijalne ose preseka**, za izvijanje u ravni z-z, proračun je u svemu isti kao i za proste preseke, odnosno

$$A = \sum_{i=1}^n A_i; \quad I_y = \sum_{i=1}^n I_{iy} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{b_i^2}{12} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot a_i^2;$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_z = \frac{l_1}{i_z} \leq \text{dop} \lambda$$

Izvijanje štapova oko **slobodne ose preseka** odnosno kada je ravan izvijanja (ravan elastične linije) u ravni materijalne ose preseka



(ili slobodne ose, zavisno od oblika poprečnog preseka), proračun stabilnost štapa se modifikuje.

Da bi se sračunala merodavna vitkost štapa složenog preseka, koja zavisi oid momenta inercije (I) i dužine izvijanja (l₁), u račun se uvodi popustljivost spojnih sredstava pomoću kojih je konstruisan štap. To znači, da se umesto momenta inercije za krut-monolitan presek u račun uvodi računski moment inercije (I_f) prema izrazu

$$I_f = \sum_{i=1}^n I_i + \gamma \sum_{i=1}^n A_i \cdot a_i^2 \quad [\text{cm}^4].$$

Ovde je:

ΣI_i - suma sopstvenih momenata inercije pojedinih elemenata složenog preseka (oko sopstvene ose),

A_i - površina preseka pojedinih elemenata složenog preseka,

a_i - rastojanja težišta pojedinih elemenata preseka od težišta složenog preseka, i

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} = F_{c,d} / A_{\text{tot}}$$

A_{tot} - ukupna površina poprečnog preseka,

k_c - određen u odgovarajućem predavanju iz DK1

$$E_1 = E_2 = E_3 = E = E_{\text{mean}}$$

Efektivnu vitkost treba sračunati prema izrazu:

$$\lambda_{\text{ef}} = l \sqrt{A_{\text{tot}} / I_{\text{ef}}}$$

$$I_{\text{ef}} = (EI)_{\text{ef}} / E$$

Štapovi složenog poprečnog preseka

2.6.7.1.1. Svi elementi preseka idu kontinualno dužinom štapa

Elementi složenog preseka povezuju se u celinu uz pomoć spojnih sredstava. Za slučaj da svi elementi složenog preseka idu kontinualno duž štapa – spojna sredstva se ravnomerno raspoređuju takođe duž štapa.

Kontrolu usvojenog razmaka spojnih sredstva (konstantnog) e' treba proveriti za najveću smičuću silu t_f po jedinici dužine štapa prema izrazu

$$e' = \frac{\text{dop} N}{\max t_f}$$

gde je

$\text{dop} N$ – dopuštena nosivost spojnog sredstva [kN],

$\max t_f$ – maksimalna smičuća sila u spojnoj ravni koja se računa preko izraza

$$\max t_f = \frac{\max Q \cdot \gamma \cdot S_1}{I_f} \quad [\text{kN/cm}^1]$$

Opterećenje spojnih sredstava treba odrediti prema:

$$V_d = \begin{cases} F_{c,d} / (120k_c) & \text{za } \lambda_{ef} \leq 30 \\ F_{c,d} \lambda_{ef} / (3600k_c) & \text{za } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \\ F_{c,d} / (60k_c) & \text{za } 60 < \lambda_{ef} \end{cases}$$

$$\max Q = V_d$$

Tip: 1.	Tip: 2.	Tip: 3.	Tip: 4.

Koeficijenti k :

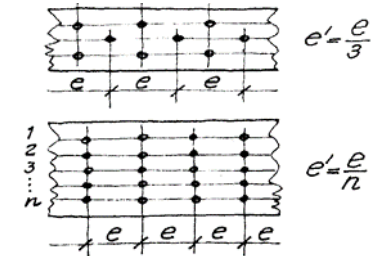
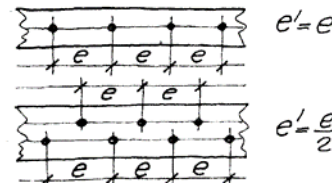
- za tip 1, 2, i 3 $\Rightarrow k = \frac{\pi^2 \cdot E_{||} \cdot A_1 \cdot e'}{l_{ly}^2 \cdot C}$ [za y-y osu]

- za tip 4 $\Rightarrow k = \frac{\pi^2 \cdot E_{||} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot e'}{l_{ly}^2 \cdot (A_1 + A_2) \cdot C}$ [za y-y osu]

- za tip 4, kada je presek simetričan odnosno za $A_1 = A_2$

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_{||} \cdot A_1 \cdot e'}{2 l_{ly}^2 \cdot C} \quad [\text{za y-y osu}]$$

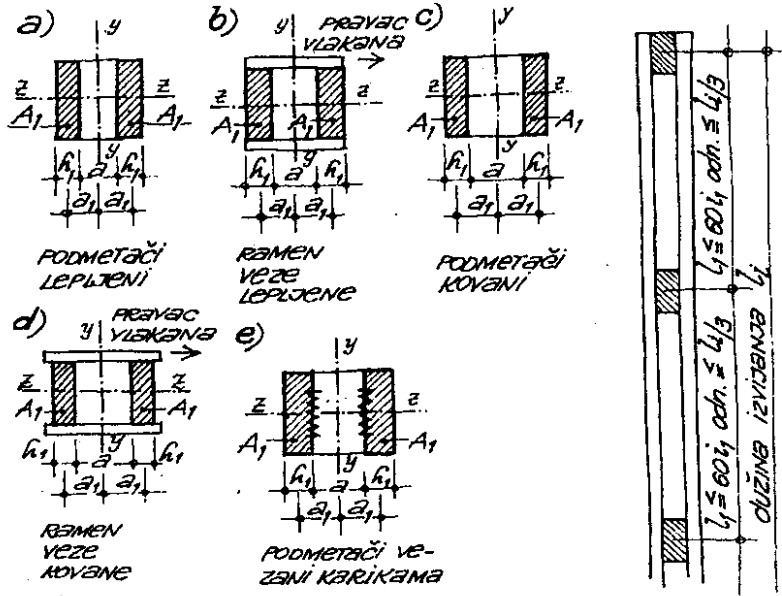
- za z-z osu i tip 2 i 3 $\Rightarrow k = \frac{\pi^2 \cdot E_{||} \cdot A_2 \cdot e'}{l_{lz}^2 \cdot C}$



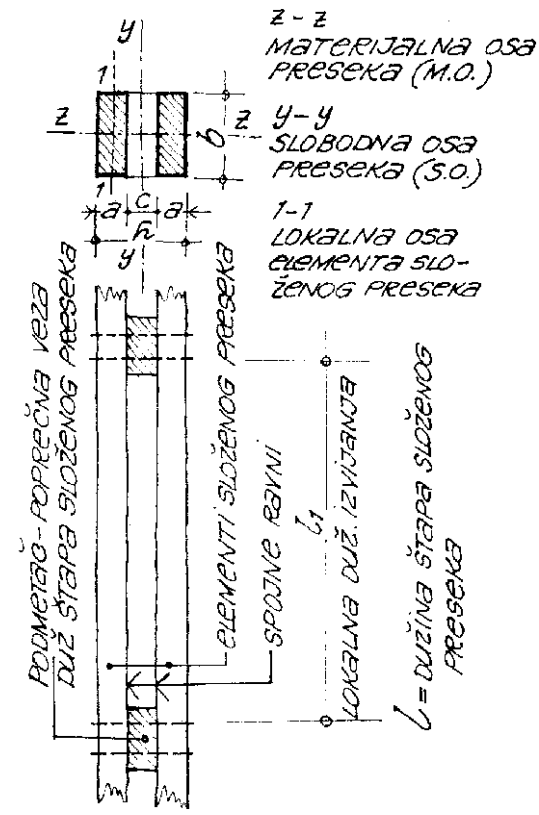
Štapovi složenog poprečnog preseka

2.6.7.1.2. Štapovi složenog preseka sa mestimično raspoređenim podmetačima (vezama)

Čest je slučaj u praksi da štapovi složenog preseka imaju mestimično po dužini poprečne veze – u obliku podmetača ili "ramen veza" (slično ramen blehovima u čeličnim konstrukcijama). Na sl. 2.72. dato je nekoliko karakterističnih primera: a) štap iz dva preseka a mestimično spojen lepljenim podmetačima; b) takođe štap iz dva preseka ali sa poprečno zalepljenim vezama; c) podmetači



Slika 2.72.



vezani za elemente složenog preseka ekserima; d) štap iz dva preseka i sa poprečno zakovanim vezama i e) štap složenog preseka sa podmetačima koji su za elemente preseka vezani karikama. Najmanji broj podmetača odnosno veza kod ovakvih štapova je dva, ili maksimalni razmak između poprečnih veza treba da je manji ili jednak 1/3 dužine izvijanja štapa. Kod štapova sa podmetačima treba da je $a/h_1 \leq 3$ (Sl. 2.72a, c i e) a kod štapova sa poprečnim vezama (Sl. 2.72b i d) ovaj odnos je $3a/h_1 < 6$.

Proračun stabilnosti štapova sa razmaknutim presecima, sa podmetačima, odnosno mestimičnim poprečnim vezama duž štapa, sprovodi se na sledeći način:

a) za izvijanje oko slobodne ose y-y
 Računska vitkost štapa za osu y-y dobija se po obrascu

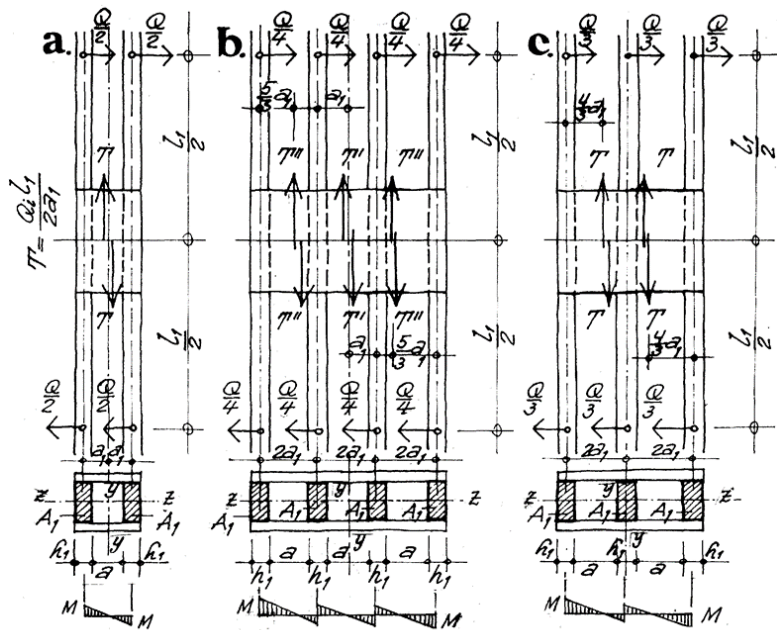
$$\lambda_f = \sqrt{\lambda_y^2 + s \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

Ovde je:

λ_f – računsa vitkost štapa,

- λ_y – vitkost štapa računskog preseka kao da je kruto spojen (u odnosu na y-y osu),
- s – koeficijent koji se uzima prema tabeli 2.25.,
- m – broj elemenata preseka koji idu celom dužinom štapa (na sl. 2.72. za sve tipove preseka m=2),
- λ_1 – lokalna vitkost jednog elementa preseka, odnosno $l_1 = l/l_2$, $l_2 = \sqrt{\frac{I_y}{A_1}}$, $l \leq \frac{1}{3} l_y$ odnosno $\leq 60 l_1$ (za slučaj da se dobije $l_1 = l/l_2 < 30$ u dalji račun unosi se vrednost 30).

Štapovi složenog poprečnog preseka



Proračun stabilnosti štapa za izvijanje oko materijalne ose preseka (ose z-z) – u svemu kao i u prethodnom slučaju (monolitni preseka).

Broj spojnih sredstava za vezu sa podmetačima, odnosno poprečnih veza sa podužnim elementima složenog preseka određuje se obzirom na veličinu smičuće sile T, odnosno

$$T = \frac{\max Q \cdot l_1}{2}, \text{ gde je:}$$

$\max Q$ – poprečna (transverzalna) sila (računa se u svemu kako je napred prikazano),

l_1 – lokalna dužina izvijanja,

a_1 – rastojanje osa podužnih elemenata od težišta složenog preseka.

Isto tako, dimenzije podmetača, odnosno poprečnih veza treba proveriti na moment veličine

$$M = \frac{\max Q \cdot l_1}{2}$$

Proračun vitkosti za osu z-z (materijalnu osu) sprovodi se kao za monolitni presek (kako je već pokazano). Broj spojnih sredstava u spojevima između poprečnih veza i podužnih elemenata, određuje se u odnosu na smičuću silu T prema izrazima:

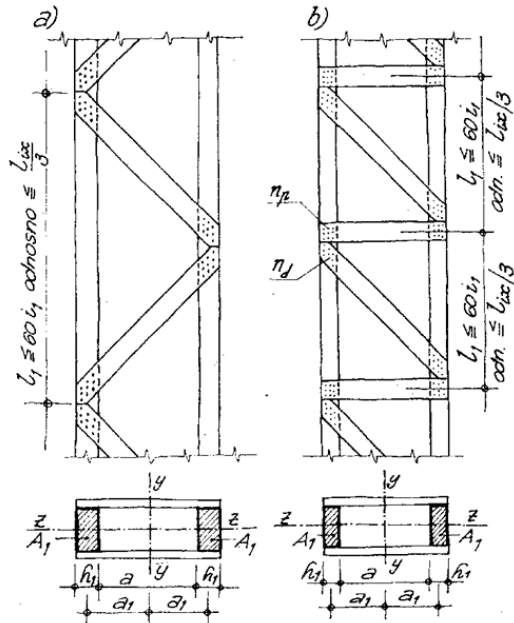
a) za trodelne štapove $T = 0,25 \frac{\max Q \cdot l_1}{a_1}$,

b) za četvorodelne štapove $T' = 0,20 \frac{\max Q \cdot l_1}{a_1}$ i $T'' = 0,15 \frac{\max Q \cdot l_1}{a_1}$

Dimenzije poprečnih veza proveravaju sa na moment savijanja prema izrazima:

a) za trodelne štapove $M = \frac{\max Q \cdot l_1}{3}$,

b) za četvorodelne štapove $M = \frac{\max Q \cdot l_1}{4}$.



Štapovi složenog preseka sa poprečnim vezama u odnosu $3 < a/h_1 < 6$ (Sl. 2.73)

Faktor s	podmetači			poprečne veze	
	lepak	ekseri	zavrtnji*	lepak	ekseri
stalno i dugotrajno opterećenje	1	4	3,5	3	6
srednje i kratkotrajno opterećenje	1	3	2,5	2	4,5

* sa moždanicima

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

Proračun napona i deformacija prema standardima za drvene konstrukcije uzima u obzir pomerljivost spojnih sredstava u spojnim ravnima. Ova pomerljivost se definiše preko modula pomerljivosti zavisnih od više parametara i njihove veličine baziraju na mnogobrojnim eksperimentima ispitivanja.

Horizontalne spojne ravni

Na primer, za poprečni presek kovanog nosača po sl. 2.76 i za poznate statičke uticaje (M_{max} i T_{max}) je:

$$A_1 = t \cdot b; A_R = d(h - 2t); S_1 = A_1 \frac{h_0}{2}; S_R = d \frac{(h - 2t)^2}{8}$$

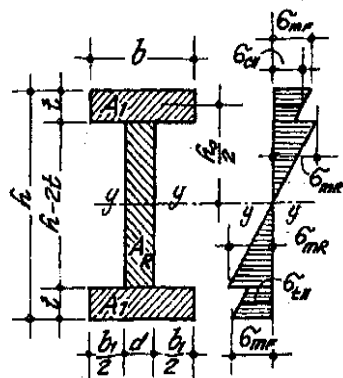
(S_1 – statički moment flanše, odnosno pojasa i S_R – statički moment 1/2 preseka rebra u odnosu na y-y osu).

Koeficijenti kojima se obuhvata pomerljivost spojnih ravni dati su izrazima

$$k = \frac{\pi^2 E A_1 e'}{l^2 \cdot c}; \quad \gamma = \frac{1}{1 + k}$$

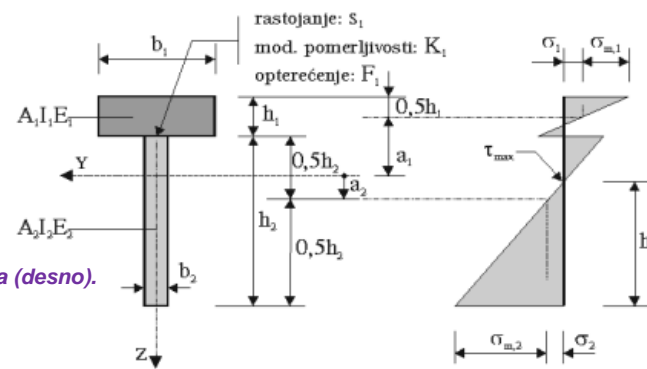
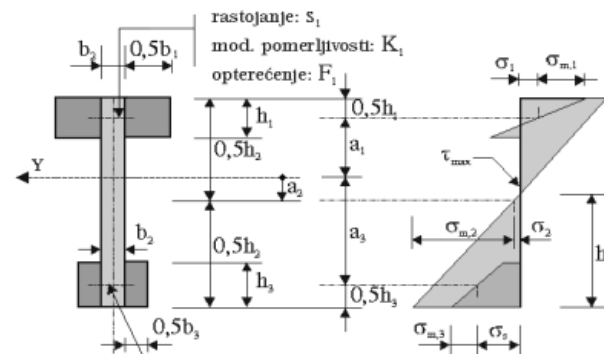
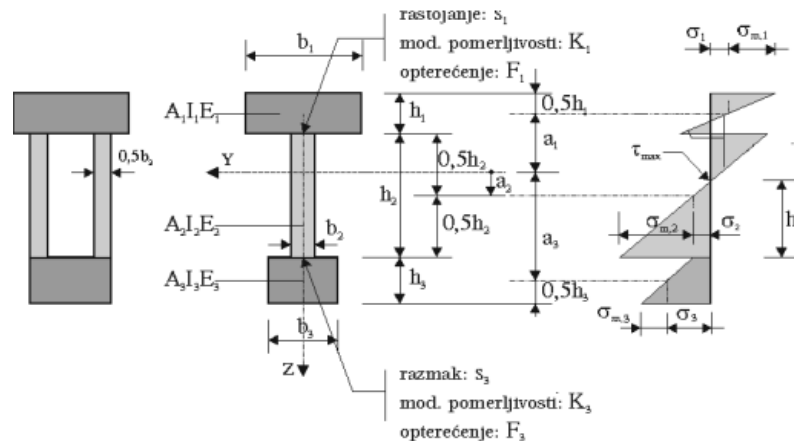
$$I_f = 2 \frac{b t^3}{12} + \frac{d(h - 2t)^3}{12} + 2 \gamma A_1 \left(\frac{h}{2}\right)^2 \Rightarrow$$

računski moment inercije za bruto odnosno neto presek kojim je obuhvaćena pomerljivost spojnih ravni. Računski moment inercije (I_f), kao što je već rečeno dat je opštim izrazom



Slika 2.76.

Poprečni presek (levo) i raspodela napona savijanja (desno). Sve veličine su pozitivne, sem a_2 koja se uzima kao pozitivna, kako je prikazano na slici.



SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

Metod proračuna zasnovan je na teoriji linearne elastičnosti i na sledećim pretpostavkama:

nosači su sistema proste grede, raspona ℓ . Isti izrazi mogu se primeniti i na kontinualne nosače, ako se za ℓ uzme 0,8 od odgovarajućeg raspona, odnosno na konzolne nosače, ako se za ℓ uzme dvostruka dužina konzole,

pojedini delovi (od drveta, ploča na bazi drveta) ili su iz jednog komada ili su napravljeni sa lepljenim spojevima,

pojedinačni delovi su međusobno povezani mehaničkim spojnima sredstvima, sa modulom pomernjivosti K ,

rastojanje spojnih sredstava S je konstantno ili je jednako promenljivo između S_{\min} i S_{\max} saglasno transverzalnoj sili, pri čemu važi uslov $S_{\max} \leq 4S_{\min}$,

opterećenje deluje u z-pravcu i daje transverzalnu silu $V=V(x)$ i moment $M=M(x)$ koji se menja po sinusoidi ili paraboli.

Efektivnu krutost na savijanje treba sračunati prema izrazu:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

sa srednjom vrednosti E , pri čemu je:

$$A_i = b_i h_i$$

$$I_i = b_i h_i^3 / 12$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i \ell^2) \right]^{-1}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}$$

Za dvodelne i T-preseke $h_3 = 0$.

Normalne napone treba sračunati prema izrazima:

$$\sigma_i = \gamma_i E_i a_i M / (EI)_{ef}$$

$$\sigma_{m,i} = 0,5 E_i h_i M / (EI)_{ef}$$

Maksimalni smičući naponi javljaju se na mestima gde su normalni naponi jednaki nuli. Maksimalni smičući napon u delu 2 poprečnog preseka treba sračunati prema izrazu:

$$\tau_{2,max} = (\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h^2) V / (b_2 (EI)_{ef})$$

Opterećenje spojnog sredstva treba sračunati prema izrazu:

$$F_i = \gamma_i E_i A_i a_i s_i V / (EI)_{ef}$$

sa $i = 1$ i 3 , gde je $S_i = S_i(x)$ razmak spojnih sredstava, definisan u B1.3 i $V = V(x)$.

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

tip 1	
PRETPO- STAVKE	$E_1 \neq E_2; E_2 = E_0; \frac{A_1}{A_{in}} = 1; \frac{I_1}{I_{in}} = 1$
POLOŽAJ TEŽIŠTA γ	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{I^2 \cdot C}}$
a	$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2}$
S	$S_1 = A_1 \cdot a_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot \frac{h_1 + h_2}{2}$ $S_2 = A_2 \cdot \frac{h_2}{8} = \frac{b_2 \cdot h_2^2}{8}$
I	$efI_y = 2 \cdot I_1 \cdot \frac{E_1}{E_0} + I_2 \cdot \frac{E_2}{E_0} + 2 \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_0} \cdot a_1^2$ $efI_y = 2 \cdot I_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} + I_2 + 2 \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot a_1^2$
σ	$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{efI_y} \left(\gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{in}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{in}} \right) \cdot \frac{E_1}{E_0}$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{in}} \cdot \frac{E_1}{E_0}$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{efI_y} \cdot \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \cdot \frac{E_2}{E_0}$ $\sigma_{s2} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \frac{h_2}{2}$
t	$cft = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_0} \cdot S_1$ $cft = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1$
τ	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot cfI_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_0} \cdot S_1 + \frac{E_2}{E_0} \cdot S_2 \right)$ $\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot cfI_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1 + S_2 \right)$

$E_1 = E_2 = E_0 = E; \frac{A_1}{A_{in}} = 1; \frac{I_1}{I_{in}} = 1$	
$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_1 \cdot e'}{I^2 \cdot C}}$	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A \cdot e'}{I^2 \cdot C}}$
	$a = h$
$S_1 = b \cdot h_1 \cdot \frac{h_1 + h_2}{2}$ $S_2 = \frac{b \cdot h_2^2}{8}$	$S_1 = b \cdot h^2$ $S_2 = \frac{b \cdot h^2}{8}$
$efI_y = 2I_1 + I_2 + 2\gamma \cdot A_1 \cdot a_1^2$	$efI_y = 3I + 2\gamma \cdot A \cdot a^2 = \frac{b \cdot h^3}{4} (1 + 8\gamma)$
$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right)$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot a_1$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \frac{h_2}{2}$	$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot h \left(\gamma + \frac{h_1}{2} \right) = \pm \frac{M}{b \cdot h^2} \cdot \frac{2(1+2\gamma)}{(1+8\gamma)}$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot h \cdot \gamma = \pm \frac{M}{b \cdot h^2} \cdot \frac{4 \cdot \gamma}{(1+8\gamma)}$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \frac{h}{2} = \pm \frac{M}{b \cdot h^2} \cdot \frac{2}{(1+8\gamma)}$
$cft = \frac{\max Q}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot S_1$	$cft = \frac{\max Q}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot S_1 = \frac{\max Q}{h} \cdot \frac{4\gamma}{(1+8\gamma)}$
$\max \tau = \frac{\max Q}{b \cdot cfI_y} (\gamma \cdot S_1 + S_2)$	$\max \tau = \frac{\max Q}{b \cdot cfI_y} (\gamma \cdot S_1 + S_2) = \frac{\max Q}{2 \cdot b \cdot h}$

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

tip 2	
PRETPOSTAVKE	
POLOŽAJ TEŽIŠTA γ	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$
a	$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2}$
S	$S_1 = A_1 \cdot a_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot \frac{h_1 + h_2}{2}$ $S_2 = A_2 \cdot \frac{h_2}{8} = \frac{b_2 \cdot h_2^2}{8}$
I	$ef I_y = 2 \cdot I_1 \cdot \frac{E_1}{E_v} + I_2 \cdot \frac{E_2}{E_v} + 2 \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot a_1^2$
σ	$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{ef I_y} \left(\gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{1n}} \right) \cdot \frac{E_1}{E_v}$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{ef I_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \cdot \frac{E_1}{E_v}$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{ef I_y} \cdot \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \cdot \frac{E_2}{E_v}$
t	$ef t = \frac{\max Q}{ef I_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot S_1$
τ	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot ef I_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot S_1 + \frac{E_2}{E_v} \cdot S_2 \right)$

$E_1 = E_2 = E_v = E; \frac{A_i}{A_{in}} = 1; \frac{I_i}{I_{in}} = 1$
$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$
$ef I_y = 2 \cdot I_1 + I_2 + 2 \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot a_1^2$
$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{ef I_y} \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right)$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{ef I_y} \cdot \gamma \cdot a_1$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{ef I_y} \cdot \frac{h_2}{2}$
$ef t = \frac{\max Q}{ef I_y} \cdot \gamma \cdot S_1$
$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot ef I_y} (\gamma \cdot S_1 + S_2)$

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

tip 4	
PRETPOSTAVKE	
POLOŽAJ TEŽIŠTA γ	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$
a	$a_1 + a_2 = \frac{h_1 + h_2}{2}$ $a_2 = \frac{\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}; a_1 = \frac{E_2 \cdot A_2 (h_1 + h_2)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$
S	$S_1 = A_1 \cdot a_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot a_1; S_{2o} = \frac{b_2}{2} \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2; S_{2u} = \frac{b_2}{2} \cdot \left(\frac{h_2}{2} + a_2 \right)^2$
I	$efI_y = I_1 \cdot \frac{E_1}{E_o} + I_2 \cdot \frac{E_2}{E_o} + \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_o} \cdot a_1^2 + A_2 \cdot \frac{E_2}{E_o} \cdot a_2^2$
σ	$\sigma_{r1} = -\frac{M}{efI_y} \left(\gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{1n}} \right) \cdot \frac{E_1}{E_o}$ $\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \cdot \frac{E_1}{E_o}; \sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2 \cdot \frac{A_2}{A_{2n}} \cdot \frac{E_2}{E_o}$ $\sigma_{r2} = \frac{M}{efI_y} \left(a_2 \cdot \frac{A_2}{A_{2n}} + \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \right) \cdot \frac{E_2}{E_o}$
t	$efl = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_o} \cdot S_1$
τ	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_o} \cdot S_1 + \frac{E_2}{E_o} \cdot S_{2o} \right) \stackrel{!}{=} \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot \frac{E_2}{E_o} \cdot S_{2u}$

$E_1 \neq E_2; E_2 = E_o; \frac{A_1}{A_{in}} = 1; \frac{I_1}{I_{in}} = 1$	$E_1 = E_2 = E_o = E; \frac{A_1}{A_{in}} = 1; \frac{I_1}{I_{in}} = 1$
	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$
	$a_1 + a_2 = \frac{h_1 + h_2}{2}$ $a_2 = \frac{\gamma \cdot A_1 (h_1 + h_2)}{2(\gamma \cdot A_1 + A_2)}; a_1 = \frac{A_2 (h_1 + h_2)}{2(\gamma \cdot A_1 + A_2)}$
$efI_y = I_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} + I_2 + \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2$	$efI_y = I_1 + I_2 + \gamma \cdot A_1 \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2$
$\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{E_1}{E_2}; \sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2$ $\sigma_{r2} = \frac{M}{efI_y} \left(a_2 + \frac{h_2}{2} \right)$	$\sigma_{r1} = -\frac{M}{efI_y} \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right)$ $\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma \cdot a_1; \sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2$ $\sigma_{r2} = \frac{M}{efI_y} \left(a_2 + \frac{h_2}{2} \right)$
$efl = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1$	$efl = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma \cdot S_1$
$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1 + S_{2o} \right) \stackrel{!}{=} \frac{\max Q}{b_2 \cdot cfI_y} \cdot S_{2u}$	$\max \tau = \frac{\max Q}{b \cdot efI_y} (\gamma \cdot S_1 + S_{2o}) \stackrel{!}{=} \frac{\max Q}{b \cdot cfI_y} \cdot S_{2u}$

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

tip 3	
PRETPOSTAVKE	
POLOŽAJ TEŽIŠTA γ	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$
a	$a_1 = \frac{h_2 - h_1}{2}$
S^*	$S_1 = A_1 \cdot a_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot \frac{h_2 - h_1}{2}$ $S_2 = A_2 \cdot \frac{h_2}{8} = \frac{b_2 \cdot h_2^2}{8}$
I	$cfI_y = 2 \cdot I_1 \cdot \frac{E_1}{E_v} + I_2 \cdot \frac{E_2}{E_v} + 2 \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot a_1^2$
σ	$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \left(\gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{1n}} \right) \cdot \frac{E_1}{E_v}$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \cdot \frac{E_1}{E_v}$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \cdot \frac{E_2}{E_v}$
t	$cft = \frac{\max Q}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot S_1$
τ	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot cfI_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot S_1 + \frac{E_2}{E_v} \cdot S_2 \right)$

$E_1 \neq E_2; E_2 = E_v; \frac{A_i}{A_{in}} = 1; \frac{I_i}{I_{in}} = 1$
$cfI_y = 2 \cdot I_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} + I_2 + 2 \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot a_1^2$
$\sigma_{r1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right) \cdot \frac{E_1}{E_2}$ $\sigma_{s1} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{E_1}{E_2}$ $\sigma_{r2} = \pm \frac{M}{cfI_y} \cdot \frac{h_2}{2}$
$cft = \frac{\max Q}{cfI_y} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1$
$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot cfI_y} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1 + S_2 \right)$

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

<p>tip 4'</p>				
<p>PRETPOSTAVKE</p>	$E_1 = E_2 = E_0 = E; \frac{A_i}{A_{in}} = 1; \frac{I_i}{I_{in}} = 1$		$E_1 \neq E_2; E_2 = E_0; \frac{A_i}{A_{in}} = 1; \frac{I_i}{I_{in}} = 1$	
<p>POLOŽAJ TEŽIŠTA γ</p>	$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$		$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot C}}$	
<p>a</p>	$a_1 + a_2 = h$ $a_2 = \frac{\gamma \cdot h}{\gamma + 1}; a_1 = \frac{h}{\gamma + 1}$	$a_1 + a_2 = \frac{h_1 + h_2}{2}$ $a_2 = \frac{\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$ $a_1 = \frac{E_2 \cdot A_2 (h_1 + h_2)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$	$a_1 + a_2 = \frac{h_2 - h_1}{2}$ $a_2 = \frac{\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 (h_2 - h_1)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$ $a_1 = \frac{E_2 \cdot A_2 \cdot (h_2 - h_1)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$	$a_1 + a_2 = \frac{h_2 - h_1 - 2e}{2}$ $a_2 = \frac{\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 (h_2 - h_1 - 2e)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$ $a_1 = \frac{E_2 \cdot A_2 (h_2 - h_1 - 2e)}{2(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$
<p>S</p>	$S_1 = A \cdot a_1 = \frac{b \cdot h^2}{1 + \gamma}$ $S_{2o} = \frac{b}{2} \left(\frac{h}{2} - a_2 \right)^2 = \frac{b \cdot h^2}{8} \left(\frac{1 - \gamma}{1 + \gamma} \right)^2$ $S_{2u} = \frac{b}{2} \left(\frac{h}{2} + a_2 \right)^2 = \frac{b \cdot h^2}{8} \left(\frac{3\gamma + 1}{\gamma + 1} \right)^2$		$S_1 = A_1 \cdot a_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot a_1$ $S_{2o} = \frac{b_2}{2} \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2$ $S_{2u} = \frac{b_2}{2} \left(\frac{h_2}{2} + a_2 \right)^2$	
<p>I</p>	$efI_y = 2 \cdot I + A(\gamma \cdot a_1^2 + a_2^2) = \frac{bh^3}{6} \cdot \left(\frac{1 + 7\gamma}{1 + \gamma} \right)$		$efI_y = I_1 \frac{E_1}{E_2} + I_2 + \gamma \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2$	

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

tip 4'		
σ	$\sigma_{r1} = -\sigma_{r2} = -\frac{M}{efI_y} \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h}{2} \right)$ $= -\frac{M}{b \cdot h^2} \cdot \frac{3(1+3\gamma)}{(1+7\gamma)}$ $\sigma_{s1} = -\sigma_{s2} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma \cdot a_1$ $= -\frac{M}{b \cdot h^2} \cdot \frac{6 \cdot \gamma}{(1+7\gamma)}$	
t	$ef t = \frac{\max Q}{efI} \cdot \gamma \cdot S_1 = \frac{\max Q}{h} \cdot \frac{6\gamma}{(1+7\gamma)}$	
τ	$\max \tau = \frac{\max Q}{b \cdot efI} (\gamma \cdot S_1 + S_{2o}) = \frac{\max Q}{b \cdot efI} \cdot S_{2u}$ $= \frac{\max Q}{b \cdot h} \cdot \frac{3(1+3\gamma)^2}{4 \cdot (1+\gamma) \cdot (1+7\gamma)}$	

σ	$\sigma_{r1} = -\frac{M}{efI_y} \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right) \frac{E_1}{E_2}$ $\sigma_{r2o} = -\frac{M}{efI_y} \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)$ $\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{E_1}{E_2}$ $\sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2; \quad \sigma_{r2u} = \frac{M}{efI} \left(\frac{h_2}{2} + a_2 \right)$
t	$ef t = \frac{\max Q}{efI} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1$
τ	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI} \left(\gamma \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1 + S_{2o} \right) = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI} \cdot S_{2u}$

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

tip s	
PRETPOSTAVKE	
POLOŽAJ TEŽIŠTA γ	$\gamma_{1,3} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{1,3} \cdot A_{1,3} \cdot e'_{1,3}}{l^2 \cdot C_{1,3}}}$ $\gamma_2 = 1$
a	$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2; \quad a_3 = \frac{h_2 + h_3}{2} + a_2;$ $a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 (h_2 + h_3)}{2(\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2 + \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3)};$ $a_{1,3} = \frac{E_2 \cdot A_2 (h_{1,3} + h_2) + \gamma_{3,1} \cdot E_{3,1} \cdot A_{3,1} (h_1 + 2 \cdot h_2 + h_3)}{2(\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2 + \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3)}$
S	$S_{1,3} = A_{1,3} \cdot a_{1,3} = b_{1,3} \cdot h_{1,3} \cdot a_{1,3}$ $S_{2o} = \frac{b_2}{2} \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2, \quad S_{2u} = \frac{b_2}{2} \left(\frac{h_2}{2} + a_2 \right)^2$
I	$efI_y = I_1 \cdot \frac{E_1}{E_v} + I_2 \cdot \frac{E_2}{E_v} + I_3 \cdot \frac{E_3}{E_v} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot a_1^2 + A_2 \cdot \frac{E_2}{E_v} \cdot a_2^2 + \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \frac{E_3}{E_v} \cdot a_3^2$

$E_1 \neq E_2 \neq E_3; E_2 = E_v; \frac{A_1}{A_{in}} = 1; \frac{I_1}{I_{in}} = 1$	$E_1 = E_2 = E_3 = E_v = E; \frac{A_1}{A_{in}} = 1; \frac{I_1}{I_{in}} = 1$
	$\gamma_{1,3} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_{1,3} \cdot e'_{1,3}}{l^2 \cdot C_{1,3}}}$ $\gamma_2 = 1$
	$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2; \quad a_3 = \frac{h_2 + h_3}{2} + a_2;$ $a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot A_3 (h_2 + h_3)}{2(\gamma_1 \cdot A_1 + A_2 + \gamma_3 \cdot A_3)};$ $a_{1,3} = \frac{A_2 (h_{1,3} + h_2) + \gamma_{3,1} \cdot A_{3,1} (h_1 + 2 \cdot h_2 + h_3)}{2(\gamma_1 \cdot A_1 + A_2 + \gamma_3 \cdot A_3)}$
$efI_y = I_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} + I_2 + I_3 \cdot \frac{E_3}{E_2} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2 + \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \frac{E_3}{E_2} \cdot a_3^2$	$efI_y = I_1 + I_2 + I_3 + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2 + \gamma_3 \cdot A_3 \cdot a_3^2$

SAVIJANJE ŠTAPOVA SLOŽENOG POPREČNOG PRESEKA-GREDNI ELEMENTI

<p>tip 5</p>			
<p>σ</p>	$\sigma_{r1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \left(\gamma_1 \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{1n}} \right) \cdot \frac{E_1}{E_0}$ $\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma_1 \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \cdot \frac{E_1}{E_{1n}}$ $\sigma_{r2} = \frac{M}{efI_y} \cdot \left(a_2 \cdot \frac{A_2}{A_{2n}} + \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \right) \cdot \frac{E_2}{E_0}$ $\sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2 \cdot \frac{A_2}{A_{2n}} \cdot \frac{E_2}{E_0}$ $\sigma_{r3} = \frac{M}{efI_y} \cdot \left(\gamma_3 \cdot a_3 \cdot \frac{A_3}{A_{3n}} + \frac{h_3}{2} \cdot \frac{I_3}{I_{3n}} \right) \cdot \frac{E_3}{E_0}$ $\sigma_{s3} = \frac{M}{efI_y} \cdot \gamma_3 \cdot a_3 \cdot \frac{A_3}{A_{3n}} \cdot \frac{E_3}{E_0}$	$\sigma_{r1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \left(\gamma_1 \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right) \cdot \frac{E_1}{E_2}$ $\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma_1 \cdot a_1 \cdot \frac{E_1}{E_2}$ $\sigma_{r2} = \frac{M}{efI_y} \cdot \left(a_2 + \frac{h_2}{2} \right)$ $\sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2$ $\sigma_{r3} = \frac{M}{efI_y} \cdot \left(\gamma_3 \cdot a_3 + \frac{h_3}{2} \right) \cdot \frac{E_3}{E_e}$ $\sigma_{s3} = \frac{M}{efI_y} \cdot \gamma_3 \cdot a_3 \cdot \frac{E_3}{E_2}$	$\sigma_{r1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \left(\gamma_1 \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right)$ $\sigma_{s1} = -\frac{M}{efI_y} \cdot \gamma_1 \cdot a_1$ $\sigma_{r2} = \frac{M}{efI_y} \cdot \left(a_2 + \frac{h_2}{2} \right)$ $\sigma_{s2} = \frac{M}{efI_y} \cdot a_2$ $\sigma_{r3} = \frac{M}{efI_y} \cdot \left(\gamma_3 \cdot a_3 + \frac{h_3}{2} \right)$ $\sigma_{s3} = \frac{M}{efI_y} \cdot \gamma_3 \cdot a_3$
<p>t</p>	$eft_{1,3} = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma_{1,3} \cdot \frac{E_{1,3}}{E_0} \cdot S_{1,3}$	$eft_{1,3} = \frac{\max Q}{efI_y} \cdot \gamma_{1,3} \cdot \frac{E_{1,3}}{E_2} \cdot S_{1,3}$	$eft_{1,3} = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot \gamma_{1,3} \cdot S_{1,3}$
<p>τ</p>	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot \left(\gamma_1 \cdot \frac{E_1}{E_0} \cdot S_1 + \frac{E_2}{E_0} \cdot S_{2o} \right) \leq \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot \left(\gamma_3 \cdot \frac{E_3}{E_0} \cdot S_3 + \frac{E_2}{E_0} \cdot S_{2u} \right)$	$\max \tau = \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot \left(\gamma_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot S_1 + S_{2o} \right)$ $\leq \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot \left(\gamma_3 \cdot \frac{E_3}{E_2} \cdot S_3 + S_{2u} \right)$	$\max \tau = \frac{\max Q}{b \cdot efI_y} \cdot (\gamma_1 \cdot S_1 + S_{2o})$ $\leq \frac{\max Q}{b_2 \cdot efI_y} \cdot (\gamma_3 \cdot S_3 + S_{2u})$