

PRORAČUN SASTAVLJENIH NOSAČA

1. KORAK – Definiranje geometrije nosača i materijalnih karakteristika

l = duljina nosača (grede ili stupa)

$l_{c,y}; l_{c,z}; l_{ef}$ = duljine izvijanja

$E_{0,mean,1}; E_{0,05,1}; G_{0,mean,1}$ = moduli elastičnosti i posmika prvog dijela

b_1/h_1 = širina/visina poprečnog presjeka prvog dijela (**Paziti na dvodjelni element! – $0,5 \cdot b_1$**)

$$A_1 = b_1 \cdot h_1$$

$$I_1 = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12}$$

spajalo₁/d₁/s₁ = vrsta/promjer/razmak spajala kojim je prvi dio povezan s drugim

$\rho_{k,1}$ = karakteristična gustoća drva kod proračuna $K_{ser,1}$ ($\sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}}$ ukoliko su različiti materijali!)

$K_{ser,1}$ = modul klizanja spajala kojim je prvi dio povezan s drugim (**Za dvodjelni element ide $2 \cdot K_{ser,1}$!**)

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_1}{K_1 \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot \pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_1}{2 \cdot K_{ser,1} \cdot l^2}} = \text{popustljivost spajala (prvi dio povezan s drugim)}$$

$E_{0,mean,2}; E_{0,05,2}; G_{0,mean,2}$ = moduli elastičnosti i posmika drugog dijela

b_2/h_2 = širina/visina poprečnog presjeka drugog dijela (**Paziti na dvodjelni element! – $0,5 \cdot b_2$**)

$$A_2 = b_2 \cdot h_2$$

$$I_2 = \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12}$$

$\gamma_2 = 1$ (**Ne postoji veza unutar drugog elementa!**)

$E_{0,mean,3}; E_{0,05,3}; G_{0,mean,3}$ = moduli elastičnosti i posmika trećeg dijela

b_3/h_3 = širina/visina poprečnog presjeka trećeg dijela (**Paziti na dvodjelni element! – $0,5 \cdot b_3$**)

$$A_3 = b_3 \cdot h_3$$

$$I_3 = \frac{b_3 \cdot h_3^3}{12}$$

spajalo₃/d₃/s₃ = vrsta/promjer/razmak spajala kojim je treći dio povezan s drugim

$\rho_{k,3}$ = karakteristična gustoća drva kod proračuna $K_{ser,3}$ ($\sqrt{\rho_{k,2} \cdot \rho_{k,3}}$ ukoliko su različiti materijali!)

$K_{ser,3}$ = modul klizanja spajala kojim je treći dio povezan s drugim (**Za dvodjelni element ide $2 \cdot K_{ser,3}$!**)

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot s_3}{K_3 \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot \pi^2 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot s_3}{2 \cdot K_{ser,3} \cdot l^2}} = \text{popustljivost spajala (treći dio povezan s drugim)}$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba cijelog nosača (**Otpornost materijala 1!**):

$$a_0 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_{0,1} + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_{0,2} + \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_{0,3}}{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2 + \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3}$$

$a_{0,1}; a_{0,2}; a_{0,3}$ = udajenosti težišta pojedinih djelova od gornjeg ruba cijelog nosača (**Ovisi o tipu nosača!**)

Nadalje je potrebno proračunati udaljenosti od neutralne osi:

$a_1; a_2; a_3$ = udajenosti težišta pojedinih djelova od neutralne osi poprečnog presjeka (**Ovisi o tipu nosača!**)

Kada se odrede sve geometrijske vrijednosti i vrijednosti materijalnih karakteristika potrebno je proračunati efektivne krutosti (**Pojedine krutosti najbolje je izračunati pri određivanju parametara pojedinih dijelova jer se ponavljaju i kasnije u proračunu!; Pripaziti da je $E_1/E_2/E_3 = E_{0,mean,1}/E_{0,mean,2}/E_{0,mean,3}$!**):

$$(EI)_{ef,y} = E_1 \cdot I_{y,1} + \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + E_2 \cdot I_{y,2} + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2 + E_3 \cdot I_{y,3} + \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3^2$$

$$(EI)_{ef,z} = E_1 \cdot I_{z,1} + \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + E_2 \cdot I_{z,2} + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2 + E_3 \cdot I_{z,3} + \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3^2$$

$$(EA)_{ef} = E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2 + E_3 \cdot A_3$$

2. KORAK – Definiranje statike i proračunskih vrijednosti čvrstoća materijala

Definirati statički sustav i proračunati potencijalni moment savijanja $M_{y,d}$, poprečnu silu na osloncu V_d i uzdužnu silu $N_{c,d}$ u elementu!

Odrediti k_{mod} s obzirom na zadanu klasu uporabljivosti i trajanje najkraćeg opterećenja u kombinaciji!

Odrediti proračunske čvrstoće materijala:

$f_{m,d,1}; f_{c,0,d,1}; f_{t,0,d,1}; f_{v,d,1}$ = proračunske vrijednosti čvrstoća za prvi dio

$f_{m,d,2}; f_{c,0,d,2}; f_{t,0,d,2}; f_{v,d,2}$ = proračunske vrijednosti čvrstoća za drugi dio

$f_{m,d,3}; f_{c,0,d,3}; f_{t,0,d,3}; f_{v,d,3}$ = proračunske vrijednosti čvrstoća za treći dio

3. KORAK – Izračunati nosivost na uzdužnu tlačnu silu (element izložen tlaku)

Ukoliko je element izložen samo uzdužnoj tlačnoj sili, pretpostavlja se da ne dolazi do pojave posmičnog naprezanja duž kontaktnih ploha između pojedinih dijelova. Razlog tome je pretpostavka da se sila jednoliko distribuira na sve elemente i da ne postoji ekscentricitet.

Odnosi tlačnih naprezanja i tlačnih čvrstoća paralelno s vlakancima u pojedinim dijelovima poprečnog presjeka jednaka su:

$$\sigma_{c,0,d,1} = \frac{E_1 \cdot N_{c,d}}{(EA)_{ef}} \leq k_{c,j,1} \cdot f_{c,0,d,1}$$

$$\sigma_{c,0,d,2} = \frac{E_2 \cdot N_{c,d}}{(EA)_{ef}} \leq k_{c,j,2} \cdot f_{c,0,d,2}$$

$$\sigma_{c,0,d,3} = \frac{E_3 \cdot N_{c,d}}{(EA)_{ef}} \leq k_{c,j,3} \cdot f_{c,0,d,3}$$

pri čemu vrijedi da je:

$$\lambda_{rel,y,i} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k,i}}{\sigma_{c,crit,y,i}}} = \frac{\lambda_{ef,y,i}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,i}}{E_{0.05,i}}} = \frac{l_{c,y}}{\sqrt{\frac{(EI)_{ef,y}}{(EA)_{ef}} \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,i}}{E_{0.05,i}}}$$

$$k_{y,i} = 0,50 \cdot \frac{1}{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y,i} - 0,50) + \lambda_{rel,y,i}^2}$$

$$k_{c,y,i} = \frac{1}{k_{y,i} + \sqrt{k_{y,i}^2 - \lambda_{rel,y,i}^2}}$$

odnosno:

$$\lambda_{rel,z,i} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k,i}}{\sigma_{c,crit,z,i}}} = \frac{\lambda_{ef,z,i}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,i}}{E_{0.05,i}}} = \frac{l_{c,z}}{\sqrt{\frac{(EI)_{ef,z}}{(EA)_{ef}} \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,i}}{E_{0.05,i}}}$$

$$k_{z,i} = 0,50 \cdot \frac{1}{1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z,i} - 0,50) + \lambda_{rel,z,i}^2}$$

$$k_{c,z,i} = \frac{1}{k_{z,i} + \sqrt{k_{z,i}^2 - \lambda_{rel,z,i}^2}}$$

4. KORAK – Izračunati nosivost na savijanje od momenta (element izložen savijanju)

Raspodjela naprezanja od savijanja ovisit će o podatljivosti spoja između elemenata. Ukoliko bi promatrali samo naprezanje na rubovima pojedinog dijela tada bi naprezanje bilo jednako:

$$\sigma_{m,y,i} = \frac{0,5 \cdot E_i \cdot h_i}{(EI)_{ef,y}} \cdot M_{max,d} \text{ (Otpornost materijala 1!)}$$

Ipak, zbog utjecaja popustljivosti spojnog sredstva događa se "pomak" dijagrama naprezanja u težištu presjeka dijelova koji su povezani spojnim sredstvima, a koji je jednak:

$$\sigma_{y,i} = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot a_{\sigma,i}}{(EI)_{ef,y}} \cdot M_{max,d}$$

pri čemu je:

$a_{\sigma,i}$ = udajenost težišta pojedinog djela od neutralne osi (Ovisi o tipu nosača!)

Sukladno tome, odnos ukupnog naprezanja i čvrstoće na rubovima pojedinog dijela koji je povezan spojnim sredstvima jednak je:

$$\sigma_{c,y,i} = \frac{0,5 \cdot E_i \cdot h_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot a_{\sigma,i}}{(EI)_{ef,y}} \cdot M_{max,d} \leq k_{c,z,i} \cdot f_{c,0,d,i}$$

$$\sigma_{t,y,i} = \frac{0,5 \cdot E_i \cdot h_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot a_{\sigma,i}}{(EI)_{ef,y}} \cdot M_{max,d} \leq f_{t,0,d,i}$$

5. KORAK – Izračunati nosivost na istovremeno djelovanje savijanja i tlaka (element izložen savijanju i tlaku)

Ukoliko istovremeno djeluje naprezanje od savijanja i od tlačne uzdužne sile, tada bi trebalo promotriti ukupno naprezanje za pojedine dijelove po principu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,i}}{k_{c,y,i} \cdot f_{c,0,d,i}} + \frac{\sigma_{c,y,i}}{k_{c,z,i} \cdot f_{c,0,d,i}} \leq 1,00$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,i}}{k_{c,z,i} \cdot f_{c,0,d,i}} + \frac{\sigma_{c,y,i}}{k_{c,y,i} \cdot f_{c,0,d,i}} \leq 1,00$$

6. KORAK – Izračunati nosivost na posmik od poprečne sile na ležaju (element izložen savijanju)

Raspodjela naprezanja od poprečne sile ovisit će o obliku nosača pri čemu je naprezanje najveće u neutralnoj osi nosača. Sukladno tome, ukoliko je hrbat oslonjen na pojasnicu odnos posmičnog naprezanja i posmične čvrstoće jednak je:

$$\tau_{v,d} = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot a_{\tau,2}^2}{b_2 \cdot (EI)_{ef,y}} \cdot V_d \leq f_{v,d,2}$$

odnosno, ukoliko je pojasnica bočno vezana uz hrbat odnos posmičnog naprezanja i posmične čvrstoće jednak je:

$$\tau_{v,d} = \frac{0,5 \cdot \gamma_2 \cdot E_2 \cdot a_{\tau,2}^2}{(EI)_{ef,y}} \cdot V_d \leq f_{v,d,2}$$

pri čemu je:

$a_{\tau,2}$ = udajenost donjeg ruba posmičnog dijela od neutralne osi (Ovisi o tipu nosača!)

7. KORAK – Izračunati opterećenje na spojno sredstvo

Opterećenje na spojno sredstvo ovisit će o posmičnoj sili koja se javlja uslijed savijanja na kontaktnim plohamo između pojedinih dijelova (pri tome pretpostavljamo da pri opterećenju uzdužnom tlačnom silom ne postoji opterećenje na spojna sredstva od takve posmične sile). Opterećenje na spojno sredstvo jednako je:

$$F_1 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_1}{(EI)_{ef,y}} \cdot V_d \quad (V_d \text{ je poprečna sila iz T dijagrama!})$$

$$F_3 = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 \cdot s_3}{(EI)_{ef,y}} \cdot V_d \quad (V_d \text{ je poprečna sila iz T dijagrama!})$$

Ukoliko je element izložen samo tlačnoj sili, iako pretpostavljamo da pri opterećenju uzdužnom tlačnom silom ne postoji opterećenje na spojna sredstva od posmične sile na kontaktnim plohamo između pojedinih dijelova, uslijed izvijanja može doći do pojave posmičnih naprezanja, pa će opterećenje na spojno sredstvo biti jednako:

$$F_1 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_1}{(EI)_{ef,y}} \cdot V_{d,1} \quad (V_{d,1} \text{ je poprečna sila uslijed izvijanja!})$$

$$F_3 = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 \cdot s_3}{(EI)_{ef,y}} \cdot V_{d,3} \quad (V_{d,3} \text{ je poprečna sila uslijed izvijanja!})$$

pri čemu je:

$$V_{d,i} = \begin{cases} \frac{N_{c,d}}{120 \cdot k_{c,j,i}} & \text{za } \lambda_{ef,j,i} < 30 \\ \frac{N_{c,d} \cdot \lambda_{ef,j,i}}{3600 \cdot k_{c,j,i}} & \text{za } 30 \leq \lambda_{ef,j,i} < 60 \\ \frac{N_{c,d}}{60 \cdot k_{c,j,i}} & \text{za } \lambda_{ef,j,i} \geq 60 \end{cases}$$

i pri čemu uzimamo da je:

$$\lambda_{ef,j,i} = \max(\lambda_{ef,y,i}; \lambda_{ef,z,i})$$