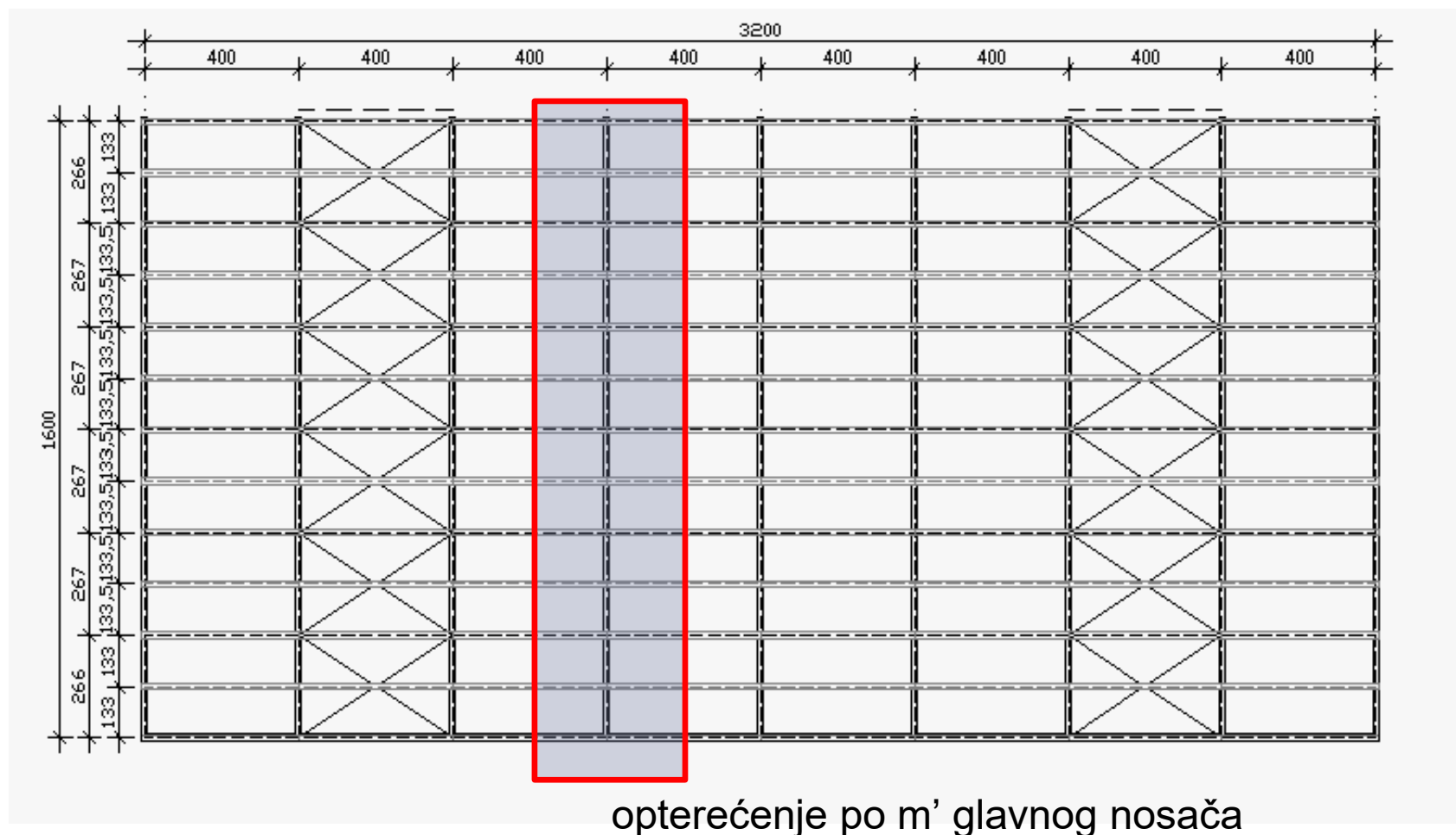




Proračun i dimenzioniranje glavnog nosača
dr. sc. Mislav Stepinac, dipl. ing. grad.

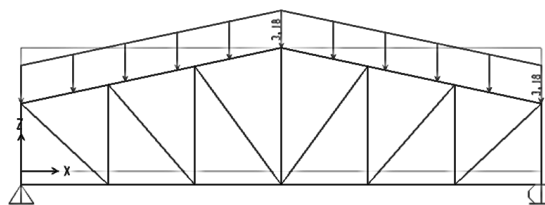
Proračun glavnog nosača



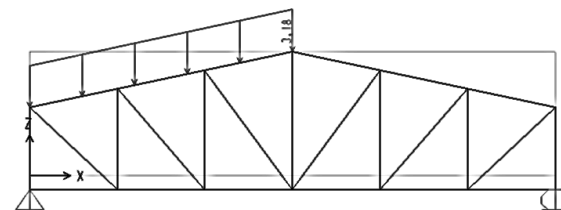
Analiza opterećenja

$$\sum (g_{st} / \cos \alpha) * RGN = G_{k,j}$$

$$s_0 * RGN = Q_{k,s}$$

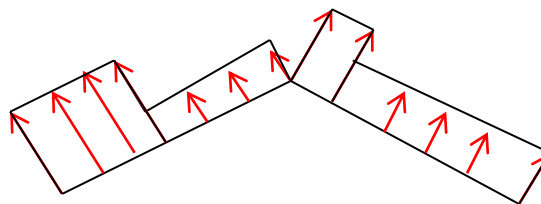


Snijeg a) simetrično

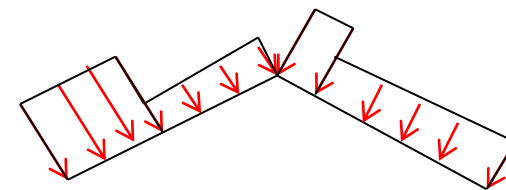


b) nesimetrično

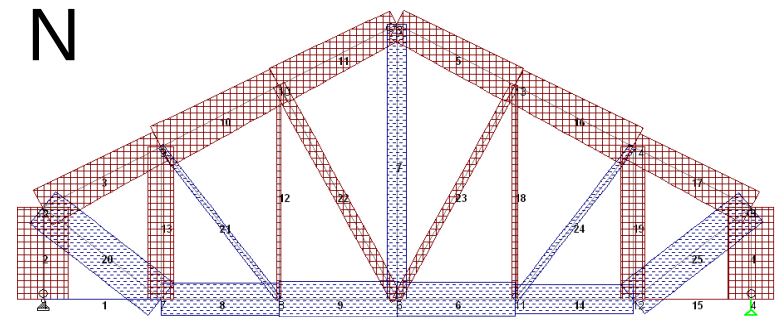
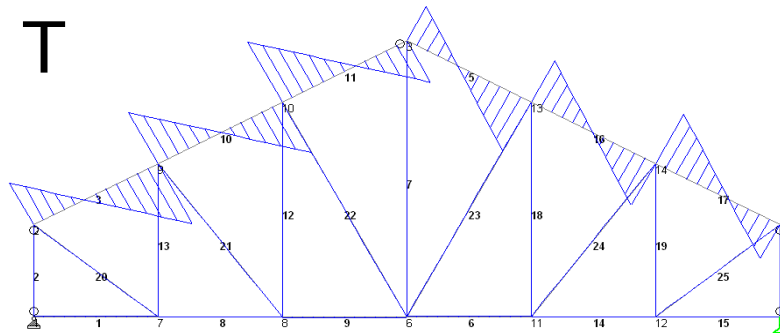
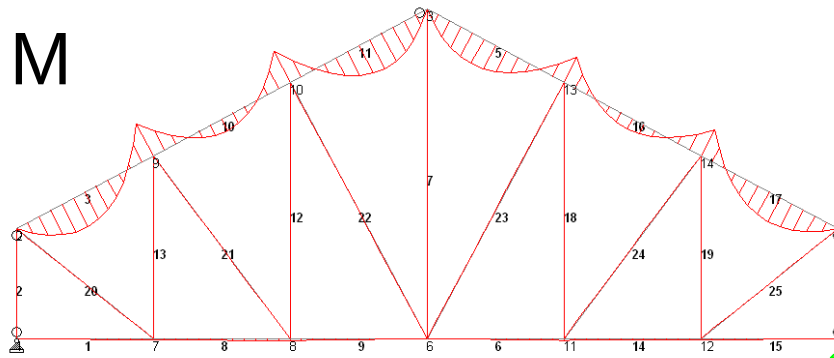
$$w_k * RGN = Q_{k,w}$$



VJETAR 1

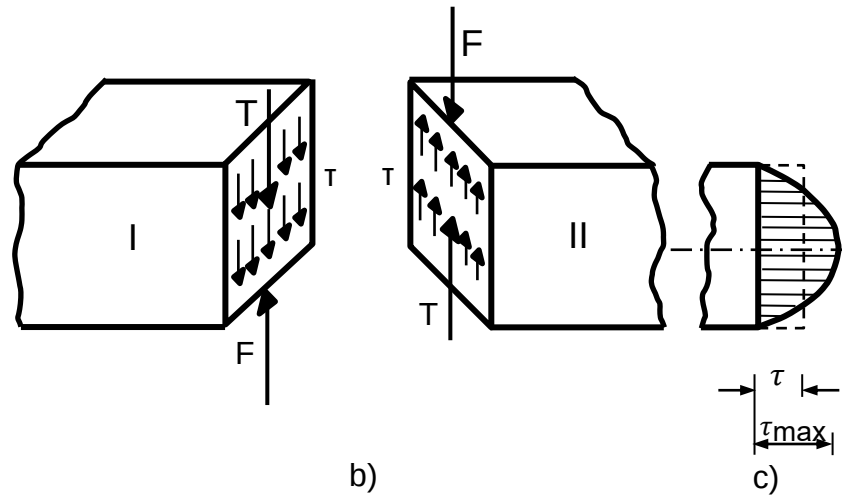
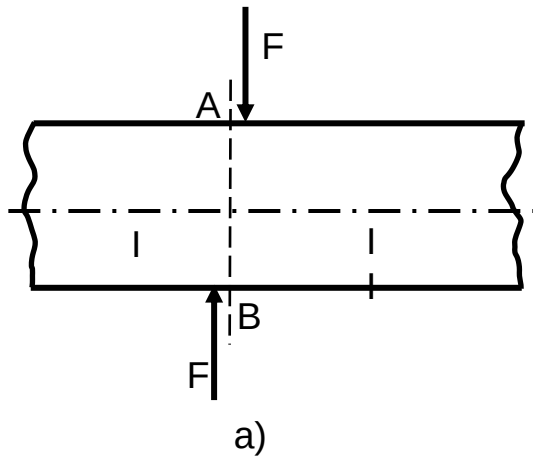
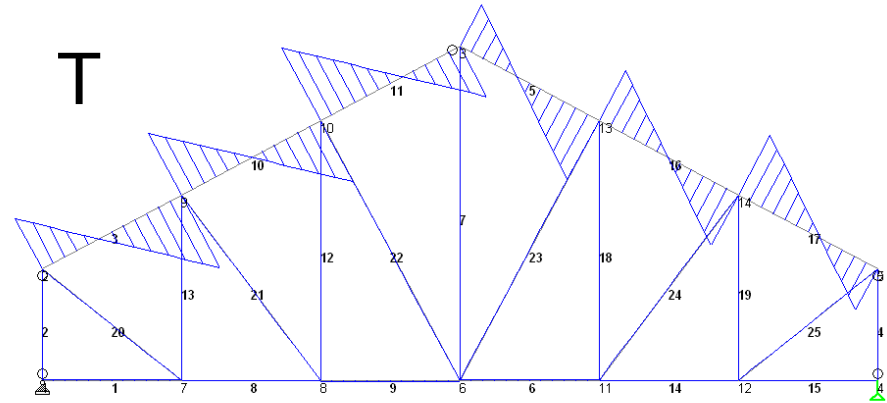


VJETAR 2



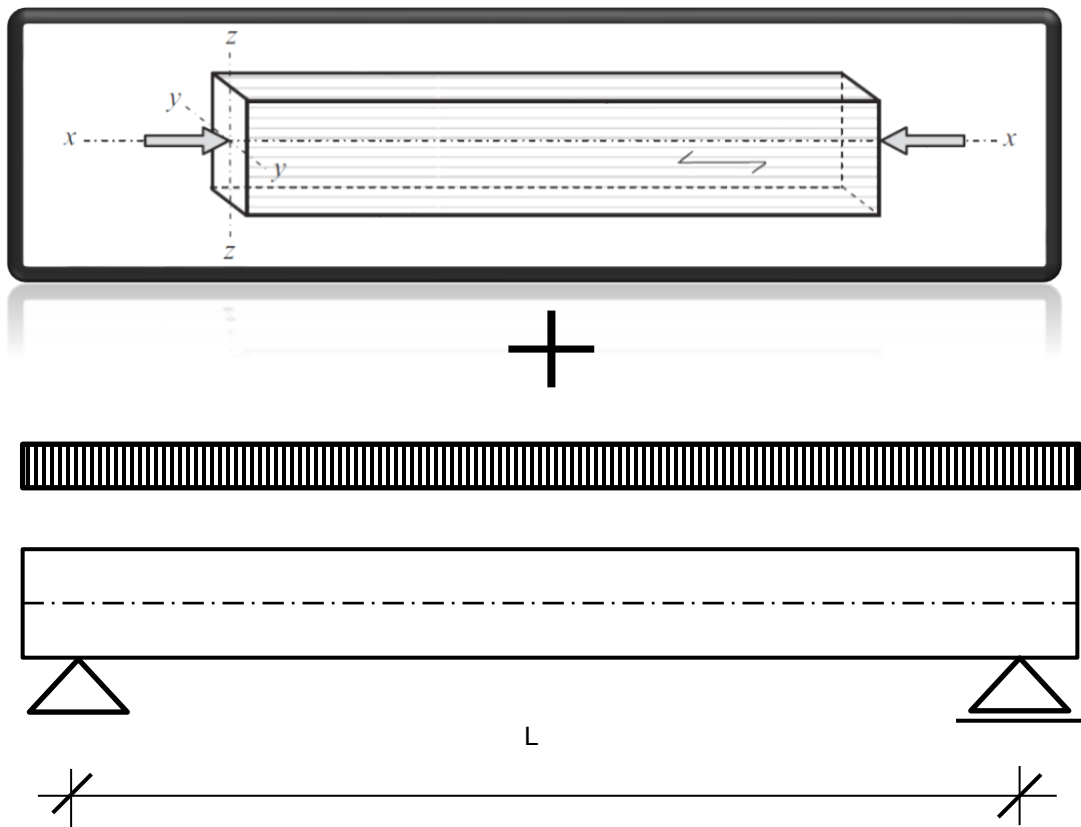
Dokaz nosivosti na posmik od poprečne sile

$$\tau_{v,d} = 1,50 \cdot \frac{Q_{v,d}}{A} \leq f_{v,d}$$



Gornji pojas

- Izravno opterećen vertikalnim utjecajima, tj. javlja se zajedničko djelovanje tlačne uzdužne sile i momenta savijanja



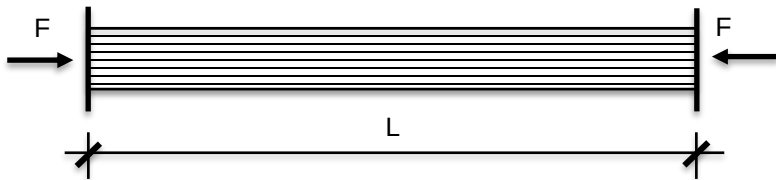
Gornji pojas – presjek u čvoru

- Dokaz nosivosti na zajedničko djelovanje tlaka i savijanja bez dokaza stabilnosti

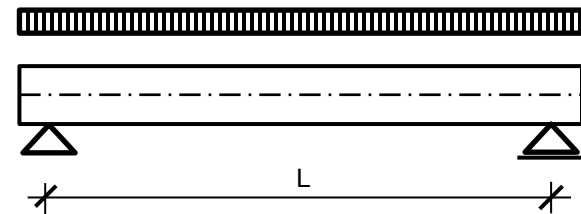
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right)$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right)$$



+



Gornji pojas – presjek u čvoru

- savijanje s bočnim izvijanjem i tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem – dokaz stabilnosti

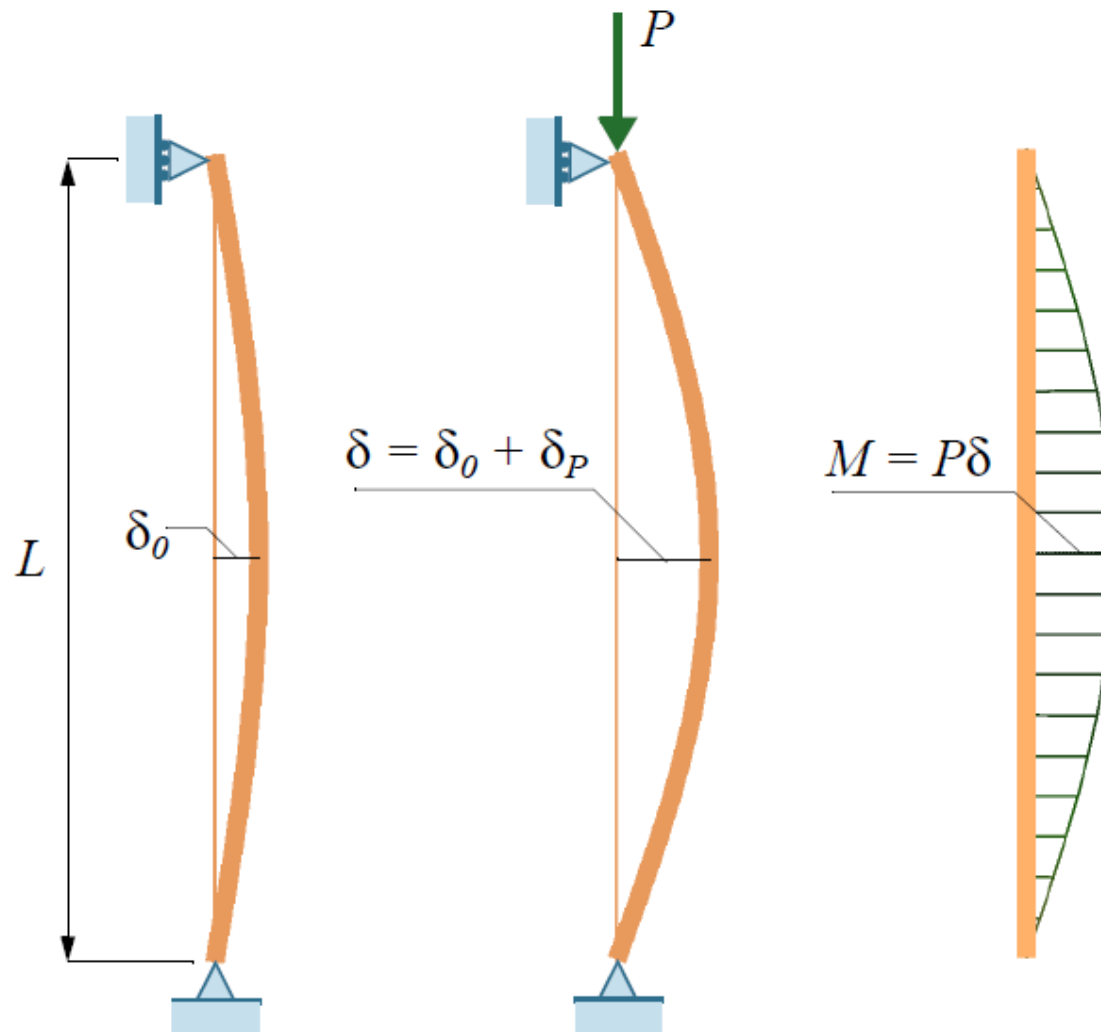
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \right) < 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \right) + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \right) < 1$$

$k_{c,y}; k_{c,z}$ - koeficijenti izvijanja

k_{crit} - koeficijent bočnog izvijanja

Izvijanje od tlačne sile



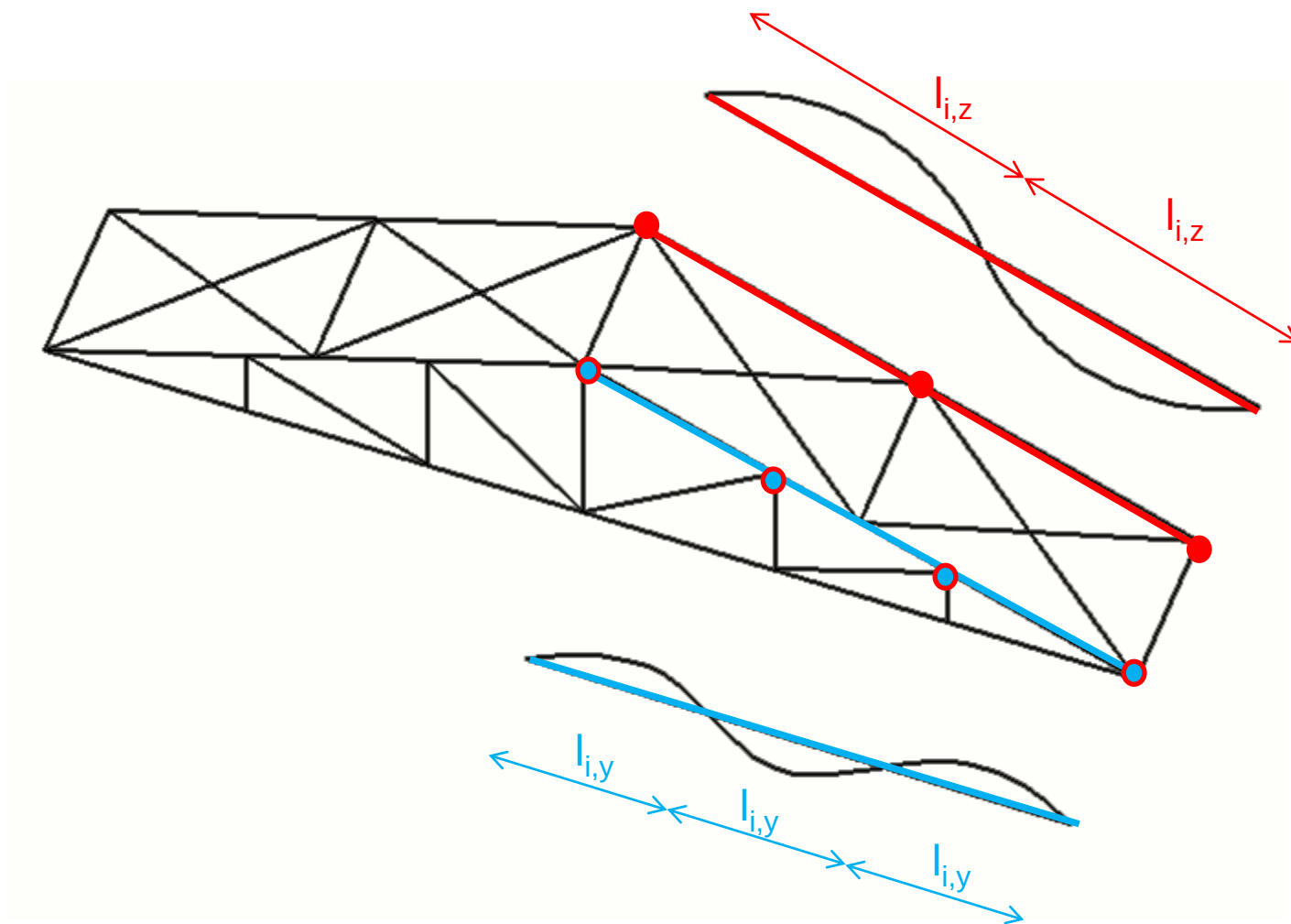
Koeficijent izvijanja

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A_0}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12 \cdot b \cdot h}}} \quad \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}}$$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

- λ_{rel} - relativna vitkost
 λ - proračunska vitkost (uvjet $30 < \lambda < 80$)
 β_c - koeficijent utjecaja drva
- puno drvo = 0,2, lamelirano = 0,1

Duljine izvijanja



Dokaz nosivosti i stabilnosti sadrži tako sljedeće uvjete koje treba ispuniti:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d} \quad (5.7.1.a)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} \quad (5.7.1.b)$$

$\sigma_{c,0,d}$ projektna (proračunska) vrijednost tlačnog naprezanja (prema 5.6.3.)

$f_{c,0,d}$ projektna vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlaknima

$k_{c,y}, k_{c,z}$ koeficijenti izvijanja (fizikalno odgovaraju vrijednosti $1/\omega$ u postupku dopuštenih naprezanja – HRN.U.C9.200)

$$1/k_{c,y} = k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \quad (5.7.1.c)$$

$$1/k_{c,z} = k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \quad (5.7.1.d)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (5.7.1.e)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (5.7.1.f)$$

gdje se utjecaj vrste drva uvažava na sljedeći način:

$\beta_c = 0,2$ za puno drvo

$\beta_c = 0,1$ za lijepljeno lamelirano drvo

Relativnu vitkost λ_{rel} treba utvrditi za obje glavne osi presjeka kao:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} \quad (5.7.1.g)$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} \quad (5.7.1.h)$$

λ_y i $\lambda_{rel,y}$ odgovaraju savijanju oko y-osi presjeka (izvijanje u smjeru osi z)

λ_z i $\lambda_{rel,z}$ odgovaraju savijanju oko z-osi presjeka (izvijanje u smjeru osi y)

Vrijednosti kritičnog naprezanja tlaka paralelno s vlakancima određuju se za obje osi presjeka kao:

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} \quad (5.7.1.i)$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2} \quad (5.7.1.j)$$

5.7.2 Savijanje s bočnim izvijanjem

Početne imperfekcije, zakrivljenja (ekscentričnosti) ili deformacije elemenata konstrukcije izloženih savijanju mogu prouzročiti bočna izvijanja i dodatna naprezanja u elementima što se obavezno mora uvažiti dokazom nosivosti. Gubitak ravnoteže poprečnog presjeka prevrtanjem (nestabilnost) izravna je posljedica upravo bočnog izvijanja presjeka napreznih savijanjem. Postoji li takva mogućnost, što prethodno treba utvrditi, kontrola nosivosti poprečnog presjeka na savijanje tada obavezno uključuje i dokaz stabilnosti, odnosno sljedeće uvjete koje treba ispuniti:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (5.7.2.a)$$

S obzirom na glavne osi tromosti poprečnog presjeka, prema izrazu 5.7.2.a i poglavlju 5.6.6, slijedi:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.7.2.b)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.7.2.c)$$

k_{crit} koeficijent redukcije projektne vrijednosti čvrstoće savijanja kojim se uvažava utjecaj bočnog izvijanja

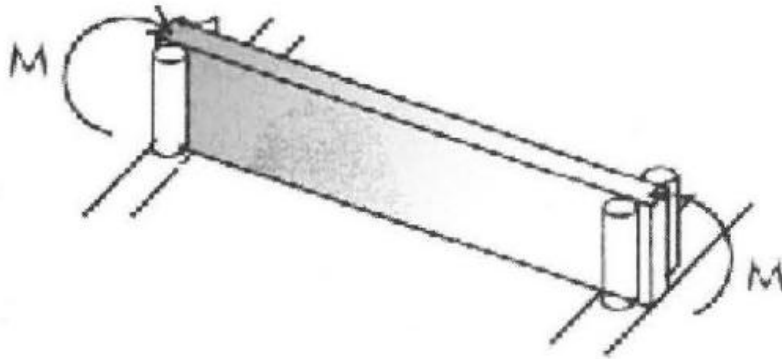
Relativna vitkost pri savijanju definira se kao:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}} \quad (5.7.2.d)$$

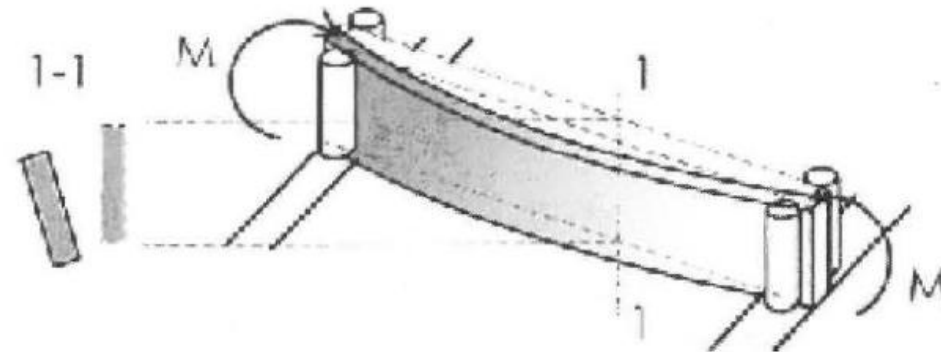
Za nosač pravokutnog poprečnog presjeka kritično naprezanje savijanja definira se prema klasičnoj teoriji stabilnosti s 5% fraktila vrijednosti krutosti kao:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{I_{ef} \cdot h} \cdot \sqrt{G_{0,mean} / E_{0,mean}} \quad (5.7.2.e)$$

Početno stanje



Bočno izvijen (izbočen) nosač



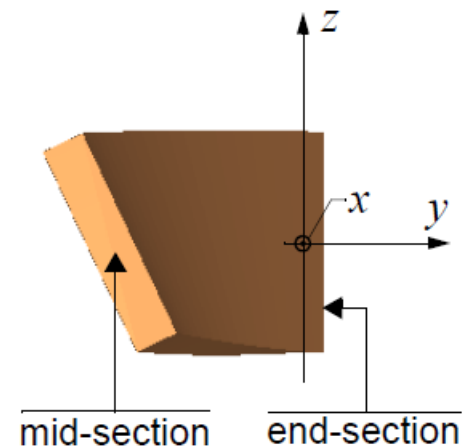
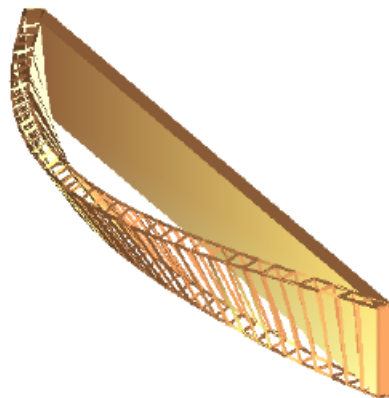
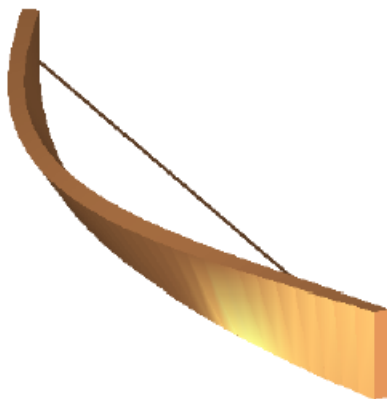
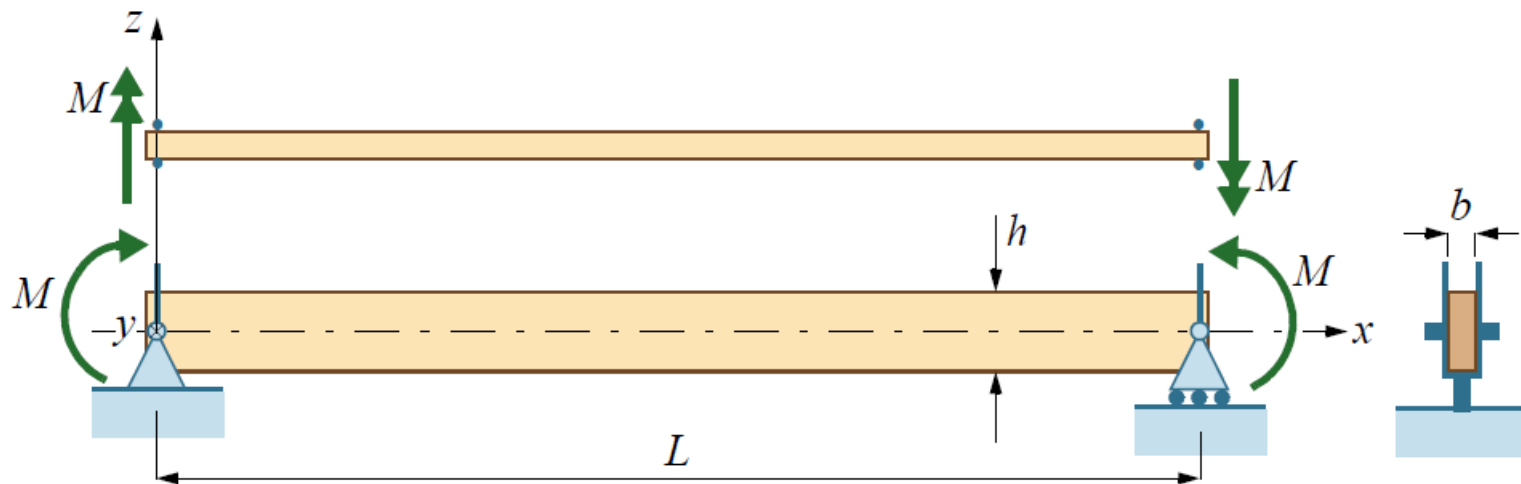
Za nosače s početnim bočnim odstupanjem od ravnosti, vrijednost koeficijenta bočnog izvijanja k_{crit} , ovisi o relativnoj vitkosti presjeka pri savijanju, $\lambda_{rel,m}$ i treba ga odrediti prema sljedećem izrazu:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{za } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases} \quad (5.7.2.f - h)$$

Za nosače čije je bočno izvijanje uzduž raspona spriječeno na pritisnutoj strani njihova presjeka, kao i onda kad su im na ležajevima spriječene torzione rotacije, koeficijent bočnog izvijanja prouzročenog savijanjem ima jediničnu vrijednost:

$$k_{crit} = 1$$

Bočno izvijanje



Katedra za drvene konstrukcije,

dr.sc. Mislav Stepinac, dipl. ing. građ.

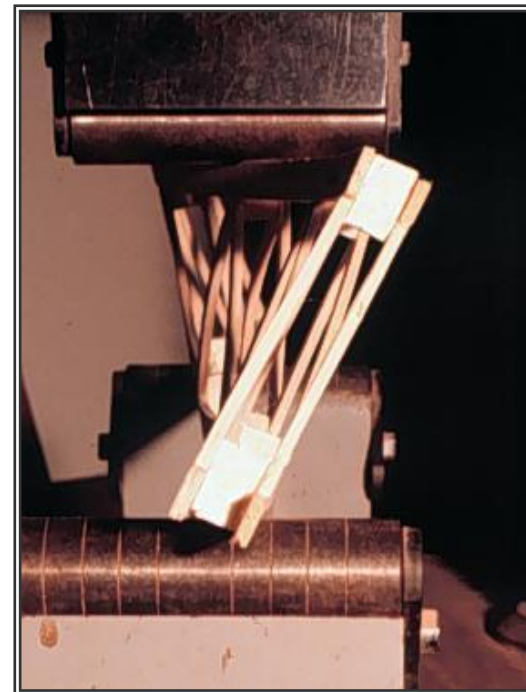
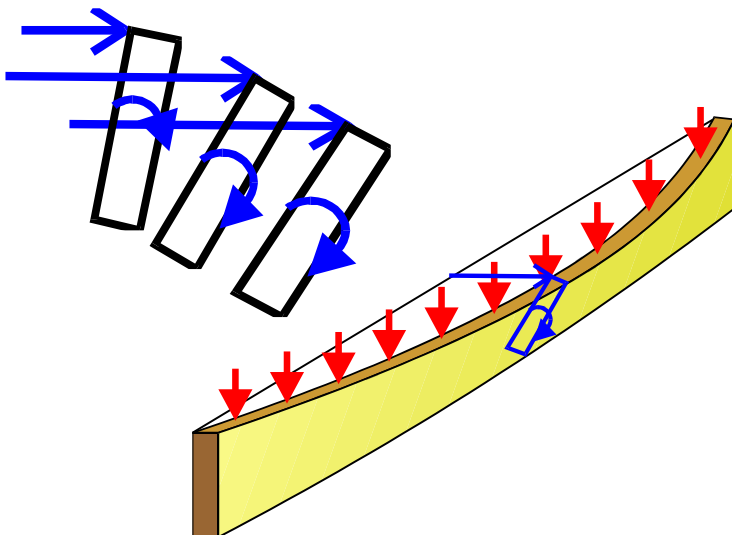
Katedra za drvene konstrukcije

Zavod za konstrukcije

Auditorne vježbe br. 4.

Glavni nosač

Bočno izvijanje



Na stupanj sigurnosti od bočnog izvijanja utječu:

vrsta i intenzitet opterećenja

odnos između širine (b) i visine (H) poprečnog presjeka

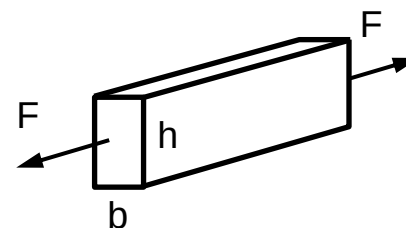
način oslanjanja nosača na krajevima raspona

razmak bočnih ukrućenja nosača

➤ Vlak paralelno s vlakancima i savijanje

$$\text{a) } \left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right)$$

$$\text{b) } \left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \right) + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right)$$



$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A_{netto}}$$

$$A_{netto} = 0,80 \cdot A_b = 0,80 \cdot b \cdot h$$

$$W_{y,netto} = 0,80 \cdot W_y$$

- Vlak paralelno s vlakancima (vlačni element)
(jednodijelni element)
- (dvodijelni element)

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_{netto}} \leq f_{t,0,d}$$

$$\sigma_{t,0,d} = 1,5 \frac{F_{t,0,d}}{A_{netto}} \leq f_{t,0,d}$$

- Tlak paralelno s vlakancima + izvijanje (tlačni element)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_b}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$$

- Karakteristični presjek u donjem pojasu rešetke, karakteristični presjek u gornjem pojasu rešetke

$$u_{2,inst} \leq \frac{l}{300} \qquad u_{fin} \leq \frac{l}{200}$$