



## ***6. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE STABILIZACIJSKOG SUSTAVA (SPREGA)***

## 6.1. ODREĐIVANJE PRORAČUNSKIH KOEFICIJENATA

### 6.1.1. Određivanje faktora izmjene za trajanje opterećenja i sadržaj vlage

Koeficijent modifikacije:

klasa uporabljivosti je 2

najkraće, tj. mjerodavno opterećenje je kratkotrajno

$$k_{\text{mod}} = 0,90$$

### 6.1.2. Određivanje parcijalnog koeficijenta za svojstva materijala

Parcijalni koeficijent za materijal:

materijal je lijepljeno lamelirano drvo klase GL24h

$$\gamma_M = 1,30$$

Parcijalni koeficijenti za materijal:

materijal je ugljični konstruktivni čelik klase S355J2

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

## 6.2. STATIČKI PRORAČUN

### 6.2.1. Proračunska vrijednost opterećenja po m' sprega od djelovanja vjetra

Proračunska vrijednost opterećenja od djelovanja vjetra na zabatnu površinu konstrukcije:

$$q_{G,w,d} = 1,50 \cdot \frac{|w_A| \cdot A_{G,w,A} + |w_B| \cdot A_{G,w,B} + |w_C| \cdot A_{G,w,C}}{n_b \cdot L_{tot}}$$

$$q_{G,w,d} = 1,50 \cdot \frac{|-1,23| \cdot 3,53 + |-0,98| \cdot 42,72 + |-0,80| \cdot 16,60}{4 \cdot 27,93} = 0,80 \text{ kN/m'}$$

Proračunska vrijednost opterećenja od djelovanja vjetra na krovnu površinu konstrukcije:

$$q_{R,w,d} = 1,50 \cdot \frac{q_b \cdot c_e(z_e) \cdot c_{fr} \cdot A_{R,w}}{n_b \cdot L_{tot}}$$

$$q_{R,w,d} = 1,50 \cdot \frac{0,39 \cdot 1,70 \cdot 0,04 \cdot 1795,77}{4 \cdot 27,93} = 0,64 \text{ kN/m'}$$

Proračunska vrijednost opterećenja po m' jednog sprega od djelovanja vjetra:

$$q_{w,d} = q_{G,w,d} + q_{R,w,d} = 0,80 + 0,64 = 1,44 \text{ kN/m'}$$

### 6.2.2. Proračunske vrijednosti opterećenja po m' sprega od djelovanja uslijed izvijanja i bočno torzijskog izvijanja

Koeficijent utjecaja ukupnog raspona:

$$k_1 = \min\left(1; \sqrt{\frac{15}{L_{tot}}}\right) = \min\left(1; \sqrt{\frac{15}{27,93}}\right) = \min(1; 0,73) = 0,73$$

Koeficijent izmjene za uzdužnu silu:

$$k_{f,F} = k_{f,3} = 80,00$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku  $l_{i,z} = 27930$  mm

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{b^3 \cdot h}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{27930}{0,289 \cdot 220} = 439,29$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 439,29 \cdot \sqrt{\frac{24,00}{\pi^2 \cdot 9400}} = 7,07$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost  $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (7,07 - 0,50) + 7,07^2) = 25,79$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{25,79 + \sqrt{25,79^2 - 7,07^2}} = 0,02$$

Proračunska vrijednost opterećenja od djelovanja uslijed izvijanja:

$$q_{F,d} = k_1 \cdot \frac{n_{st} \cdot N_{d,F}}{k_{f,F} \cdot L_{tot}} = k_1 \cdot \frac{n_t \cdot (1 - k_{c,z}) \cdot \sum F_{c,0,d}}{k_{f,F} \cdot L_{tot}}$$

$$q_{F,d} = 0,73 \cdot \frac{16}{4} \cdot (1 - 0,02) \cdot \frac{3874,49}{9} = 0,55 \text{ kN/m'}$$

Koeficijent izmjene za moment savijanja:

$$k_{f,M} = k_{f,3} = 30,00$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi y:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku  $l_{eff,y} = 27930 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{eff,y}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 220^2 \cdot 9400}{400 \cdot 27930} \cdot \sqrt{\frac{720}{11600}} = 31,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24,00}{31,87}} = 0,87 < 1,40$$

$$k_{crit,y} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,y} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,87 = 0,91$$

Proračunska vrijednost opterećenja od djelovanja uslijed bočno torzijskog izvijanja:

$$q_{M,d} = k_1 \cdot \frac{n_{st} \cdot N_{d,M}}{k_{f,M} \cdot L_{tot}} = k_1 \cdot \frac{n_t \cdot (1 - k_{crit,y}) \cdot \frac{M_{y,d}}{h}}{k_{f,M} \cdot L_{tot}}$$

$$q_{M,d} = 0,73 \cdot \frac{16}{4} \cdot (1 - 0,91) \cdot \frac{39,14 \cdot 10^3}{400} = 0,03 \text{ kN/m'}$$

Proračunska vrijednost opterećenja po m' jednog sprega od djelovanja uslijed izvijanja i bočno torzijskog izvijanja:

$$q_{b,d} = q_{F,d} + q_{M,d} = 0,55 + 0,03 = 0,58 \text{ kN/m'}$$

### 6.2.3. Proračunska vrijednost ukupnog djelovanja na spreg

Proračunska vrijednost ukupnog djelovanja po m' jednog sprega:

$$q_d = q_{w,d} + q_{b,d} = 1,44 + 0,58 = 2,02 \text{ kN/m'}$$

Proračunska vrijednost ukupnog djelovanja u čvorovima jednog sprega:

$$Q_{E,1,d} = q_d \cdot \frac{L_{f,1}}{2} = 2,02 \cdot \frac{2,571}{2} = 2,60 \text{ kN}$$

$$Q_{F,2,d} = q_d \cdot \frac{L_{f,1} + L_{f,2}}{2} = 2,02 \cdot \frac{2,571 + 5,142}{2} = 7,79 \text{ kN}$$

$$Q_{F,3,d} = q_d \cdot L_{f,2} = 2,02 \cdot 5,142 = 10,39 \text{ kN}$$

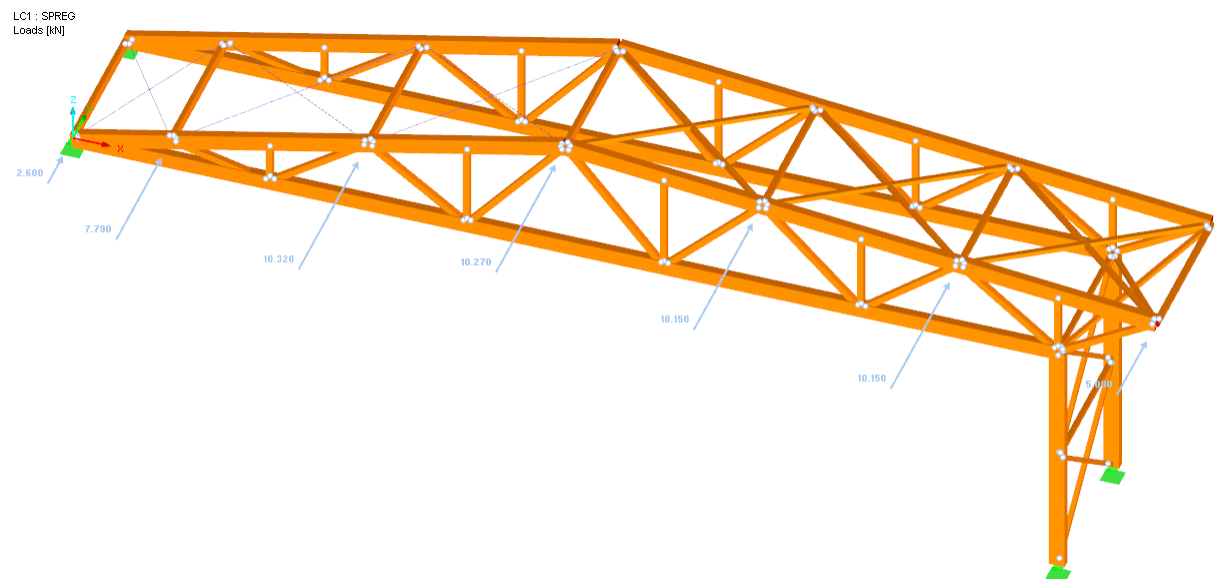
$$Q_{F,4,d} = q_d \cdot \frac{L_{f,2} + L_{f,3}}{2} = 2,02 \cdot \frac{5,142 + 5,025}{2} = 10,27 \text{ kN}$$

$$Q_{F,5-6,d} = q_d \cdot L_{f,3} = 2,02 \cdot 5,025 = 10,15 \text{ kN}$$

$$Q_{E,7,d} = q_d \cdot \frac{L_{f,3}}{2} = 2,02 \cdot \frac{5,025}{2} = 5,08 \text{ kN}$$

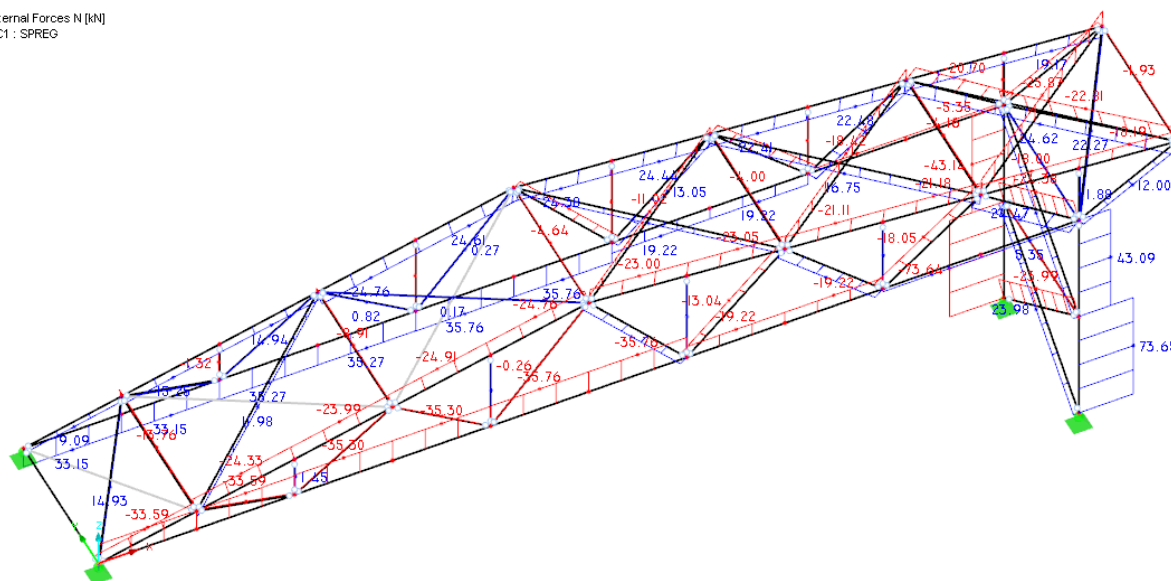
#### 6.2.4. Proračunska vrijednost ukupnog djelovanja na spreg

Raspored opterećenja na glavni nosivi sustav:



### Dijagram uzdužnih sila:

Internal Forces N [kN]  
LC1 : SPREG



Vrijednosti unutarnjih sila i momenata u vertikalama sprega (podrožnicama):

$$F_{c,0,d} = 13,76 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 3,71 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 0,86 \text{ kNm}$$

Vrijednosti unutarnjih sila u dijagonalama sprega:

$$F_{t,0,d} = 24,47 \text{ kN}$$

$$F_{c,0,d} = 25,87 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 14,93 \text{ kN}$$

## 6.3. DIMENZIONIRANJE PREMA KRAJNJEM GRANIČNOM STANJU

### 6.3.1. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima i savijanje (bez dokaza stabilnosti) u polju vertikalne sprega (podrožnici)

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b \cdot h} = \frac{13,76 \cdot 10^3}{140 \cdot 180} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,00}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent oblika poprečnog presjeka napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka

$$k_m = 0,70$$

Proračunska vrijednost naprezanja od savijanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{M_{y,d}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{3,71 \cdot 10^6}{\frac{140 \cdot 180^2}{6}} = 4,91 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{M_{z,d}}{\frac{b^2 \cdot h}{6}} = \frac{0,86 \cdot 10^6}{\frac{140^2 \cdot 180}{6}} = 1,46 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska vrijednost čvrstoće na savijanje:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,00}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima i savijanje:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$

$$\left( \frac{0,55}{16,62} \right)^2 + \left( \frac{4,91}{16,62} + 0,70 \cdot \frac{1,46}{16,62} \right) = 0,36 < 1,00$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left( k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$

$$\left( \frac{0,55}{16,62} \right)^2 + \left( 0,70 \cdot \frac{4,91}{16,62} + \frac{1,46}{16,62} \right) = 0,30 < 1,00$$

Element presjeka 140/180 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 36 %.

### 6.3.2. Provjera nosivosti na vlak paralelno s vlakancima u polju dijagonale sprega

Proračunska vrijednost vlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_{netto}} = \frac{F_{t,0,d}}{0,80 \cdot b \cdot h} = \frac{24,47 \cdot 10^3}{0,80 \cdot 120 \cdot 120} = 2,12 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska vrijednost vlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{16,50}{1,30} = 11,42 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na vlak paralelno s vlakancima:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{2,12}{11,42} = 0,19 < 1,00$$

Element presjeka 120/120 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 19 %.

### 6.3.3. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima (s dokazom stabilnosti) u polju dijagonale sprega

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b \cdot h} = \frac{25,87 \cdot 10^3}{120 \cdot 120} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi y:

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku  $l_{i,y} = 6423 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{6423}{0,289 \cdot 120} = 185,21$$

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 185,21 \cdot \sqrt{\frac{24,00}{\pi^2 \cdot 9400}} = 2,98$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost  $\beta_c = 0,10$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,50) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,98 - 0,50) + 2,98^2) = 5,06$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{5,06 + \sqrt{5,06^2 - 2,98^2}} = 0,11$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku  $l_{i,z} = 6423 \text{ mm}$



$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{b^3 \cdot h}{12}}}} = \frac{l_{i,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{6423}{0,289 \cdot 120} = 185,21$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 185,21 \cdot \sqrt{\frac{24,00}{\pi^2 \cdot 9400}} = 2,98$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost  $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50)) + \lambda_{rel,z}^2 = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,98 - 0,50)) + 2,98^2 = 5,06$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{5,06 + \sqrt{5,06^2 - 2,98^2}} = 0,11$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,00}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem:

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

$$\frac{1,80}{0,11 \cdot 16,62} = 0,99 < 1,00$$

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

$$\frac{1,80}{0,11 \cdot 16,62} = 0,99 < 1,00$$

Element presjeka 120/120 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 99 %.

### 6.3.4. Provjera nosivosti na vlak u polju dijagonale sprega

Proračunska otpornost poprečnog presjeka elementa na vlak:

$$N_{t,Rd} = \min\left(\frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}}; \frac{0,90 \cdot A_s \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}}\right) = \min\left(\frac{78,54 \cdot 355}{1,00}; \frac{0,90 \cdot 58,00 \cdot 510}{1,25}\right) = 21,30 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti poprečnog presjeka elementa na vlak:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{14,93}{21,30} = 0,70 < 1,00$$

Element presjeka  $\Phi 10$  mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 70 %.