

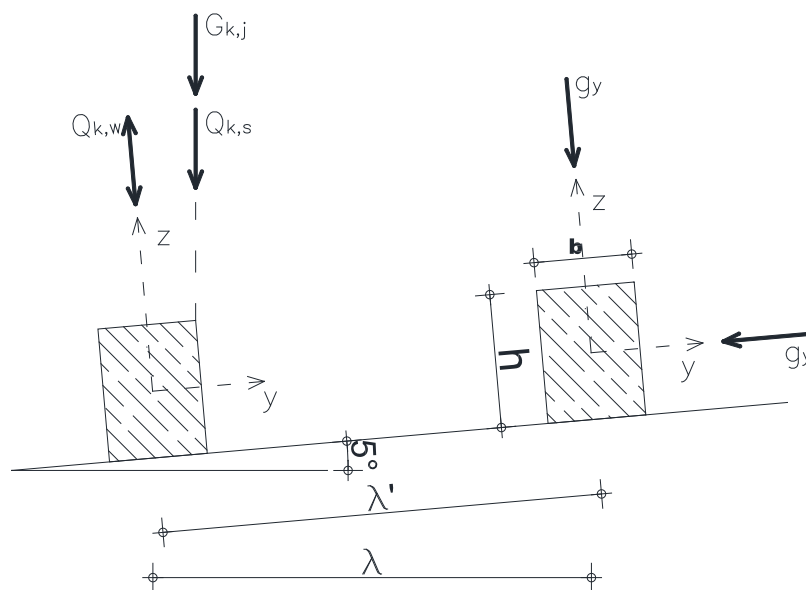
Потребно је пројектовати и срачунати халу од лепљеног ламенираног дрвета са следећим карактеристикама:

- Распон везача 21,6 m
- Растојење главних носача $B = 4,80$ m
- Дужина хале $L = n \times B = 4,8 \times 8 = 38,4$ m

Сви носећи елементи (главни носач, рожњача, стуб) израђени су од лепљеног ламинираног дрвета класе GL 32 експлоатационе класе 1, према prEN 1194 са следећим карактеристикама:

савијање	$f_{m,g,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$
затезање паралелно влакнима	$f_{t,0,g,k} = 22,50 \text{ N/mm}^2$
затезање управно влакнима	$f_{t,90,g,k} = 0,50 \text{ N/mm}^2$
притисак паралелно влакнима	$f_{c,0,g,k} = 29,0 \text{ N/mm}^2$
притисак управно влакнима	$f_{c,90,g,k} = 3,30 \text{ N/mm}^2$
смицање	$f_{\perp,g,k} = 3,80 \text{ N/mm}^2$
средња вредност модула Е паралелно влакнима	$E_{0,g,mean} = 13\ 700 \text{ N/mm}^2$
средња вредност модула Е управно на влакна	$E_{90,g,mean} = 460 \text{ N/mm}^2$
5% - фрактил модула Е паралелно влакнима	$E_{0,g,05} = 11\ 100 \text{ N/mm}^2$
средња вредност модула G паралелно влакнима	$G_{0,g,mean} = 850 \text{ N/mm}^2$
запреминска тежина	$\gamma = 4,2 \text{ kN/m}^3$

1. Прорачун рожњаче POS 1



слика 1: приказ рожњаче и оптерећења

Међусобни размак рожњача ($\lambda = 2 \div 3$)

$$\lambda = \frac{L}{16} = \frac{21,6}{8} = 2,70 \text{ m по основи крова}$$

$$\lambda' = \frac{L}{\cos\alpha} = \frac{2,70}{\cos 5^\circ} \cong 2,70 \text{ m по косој кровној површини}$$

✓ Напомена: Због малог нагиба ктова ($\cos 5^\circ = 0,9962 \approx 1$) усвојено је да је оптерећење по m^2 косе површине једнако оптерећењу по m^2 основе.

Претпостављена димензија рожњаче: $b/h = 14/19 \text{ cm}$

а) Гранично стање носивости

1.1 Анализа оптерећења

Анализа оптерећења

1.1.1 Стална дејства:

-Од кровног покривача

$$g_{кр} = 0,40 \text{ kN/m}^2 \text{ основе крова}$$

-Сопствена тежина рожњаче за претпостављени пресек 14/19 cm

$$g = b \cdot h \cdot \gamma_d / \lambda = 0,14 \cdot 0,19 \cdot 4,5 / 2,70 = 0,044 \text{ kN/m}^2 \text{ основе крова}$$

$$G = g_{кр} + g = 0,40 + 0,044 = 0,444 \text{ kN/m}^2 \text{ основе крова}$$

Променљива дејства

1.1.2 Оптерећење снегом

Прорачун дејства снега на конструкцију срачунато је према ЕВРОКОД-у EN1991 део 1-3 (2003): дејство снега

$$s = \mu_i C_e C_t S_k$$

μ_i – коефицијент облика оптерећења од снега (поглавље 5.3 ЕВРОКОДА анекс Б)

S_k – карактеристична вредност оптерећења од снега на тло

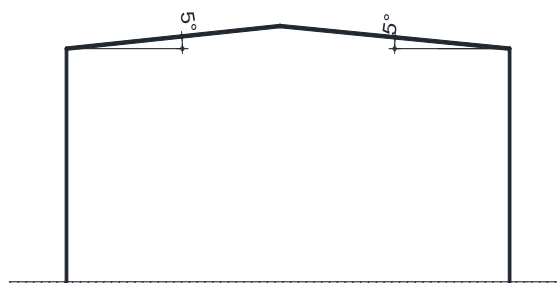
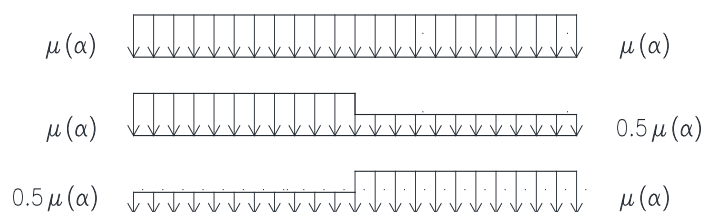
C_e – коефицијент изложености

C_t – термички коефицијент

$C_e = 1,0$ препоручена вредност коефицијента C_e за уобичајену топографију (површине код којих услед дејства ветра нема значајног уклањања снега са грађевинских објеката, као и због терена, тако и због других грађевинских објеката или дрвећа) – ЕВРОКОД 1-3,1991 табела 5.1

$C_t = 1,0$ препоручена вредност према ЕВРОКОД-у 1-3,1991 табела 5.1

μ_i – коефицијент облика оптерећења од снега за двоводне кровове са једнаким нагибом од $\alpha = 5^\circ$



слика 2: коефицијенти облика оптерећења од снега – коси кровови

табела 1: коефицијенти облика оптерећења од снега (Еврокод 1-3, 1991)

Угао нагиба крова	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 30^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0.0
μ_2	$0,8+0.8\alpha/30$	1.6	/

за $\alpha=30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$

$S_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ вредност дата на картама у оквиру националних анекса

$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$ по основи крова

1.1.3 Оптерећење ветром

Прорачун дејства ветра на конструкцију срачунато је према ЕВРОКОД-у 1 EN1991 део 1-4 (2005): дејства ветра

1.1.3.1 Прорачун ударног притиска ветра q_p

- фундаментална вредност основне брзина ветра за град Ниш на надморској висини

$H = 202 \text{ m}$

$V_{b,0} = 19 \text{ m/s}$

- основна брзина ветра

$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0}$

c_{dir} – коефицијент правца

c_{season} – коефицијент сезонског деловања

$c_{dir} = 1,0$ препоручена вредност према ЕВРОКОД – у

$c_{season} = 1,0$ препоручена вредност према ЕВРОКОД – у

$V_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 19,0 = 19,0 \text{ m/s}$

- средња брзина ветра

$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b$

$c_r(z)$ – коефицијент храпавости

$c_0(z)$ – коефицијент топографије

$c_0(z) = 1,0$ препоручена вредност према ЕВРОКОД – у

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ за } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ за } z < z_{\min}$$

z_0 – дужина хрпавости

k_r – коефицијент терена који зависи од дужине хрпавости z_0

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$z_{0,II} = 0,05$ терен категорије II, табела 2

z_{\min} – минимална висина, дефинисана у табели 2

z_{\max} – максимална висина треба бити узето као 200 m

табела 2: Категорије терена и параметри терена (ЕВРОКОД 1 део 1-4)

Категорија терена		z_0 [m]	z_{\min} [m]
0	Море или обално подручје изложено отвореном мору	0,003	1
I	Језера или равничарска и хоризонтална површина са занемарљивом вегетацијом и без препрека	0,01	1
II	Површина са ниском вегетацијом, као што је трава и изолованим препрекама (дрвеће, зграде), које су удаљене за најмање 20 висина препреке	0,05	2
III	Површина са редовном прекривеношћу вегетацијом или зградама, или, пак, изолованим пререкама које су удаљене са највише 20 висине препреке (као што су села, приградски терени, непрекидна шума)	0,3	5
IV	Површина, на којој је најмање 15% површине прекривено зградама, чија је просечна висина прелази 15 м	1,0	10

$$z_0 = 0,3 \text{ м}$$

$$z_{\min} = 5 \text{ м}$$

$$z = 8,50 \text{ м} - \text{висина слемена хале} \Rightarrow z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$$

$$c_r(8,50) = 0,2154 \cdot \ln\left(\frac{8,50}{0,3}\right) = 0,720$$

$$v_m(8,50) = c_r(8,50) \cdot c_0(8,50) \cdot v_b$$

$$v_m(8,50) = 0,720 \cdot 1,0 \cdot 19 = 13,68 \text{ m/s}$$

- ударни притисак ветра q_p

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot lv(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – вредност густине ваздуха дата, дата у националном анексу

$lv(z)$ – интензитет турбуленције на висини z

$$lv(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \text{ за } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$lv(z) = lv(z_{\min}) \text{ за } z < z_{\min}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 5,0 \text{ m}$$

$$z = 8,50 \text{ m} \text{ – висина слемена зграде } \Rightarrow z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

k_I – коефицијент турбуленција, препоручена вредност 1,0 према Еврокоду

$c_0(z)$ – коефицијент топографије

$c_0(z) = 1,0$ препоручена вредност према ЕВРОКОДУ

$$lv(8,50) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(8,50/0,3)} = 0,299$$

$$q_p(8,50) = [1 + 7 \cdot 0,299] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 13,68^2 = 361,77 \text{ N/m}^2 = 0,362 \text{ kN/m}^2$$

1.1.3.2 Прорачун притиска ветра који делује на рожњаче

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe}$$

q_p – ударни притисак ветра

z_e – референтна висина за спољашњи притисак

c_{pe} – коефицијент спољашњег притиска

– референтна висина z_e једнака је висини зграде h

$$z_e = h = 8,50 \text{ m}$$

$b = 21,60 \text{ m}$ – димензија управна на правац ветра

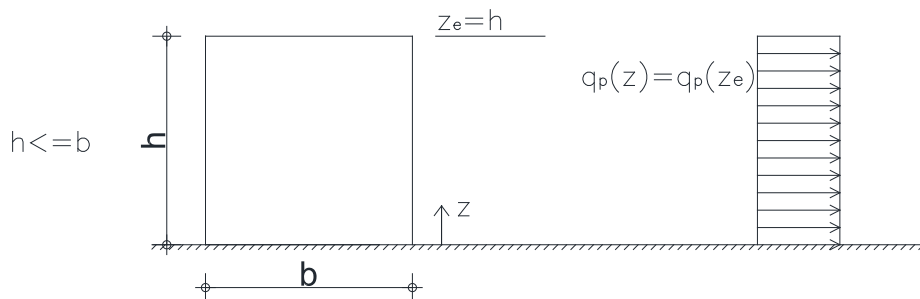
$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{21,60; 17,0\}$$

$$e = 17,0 \text{ m}$$

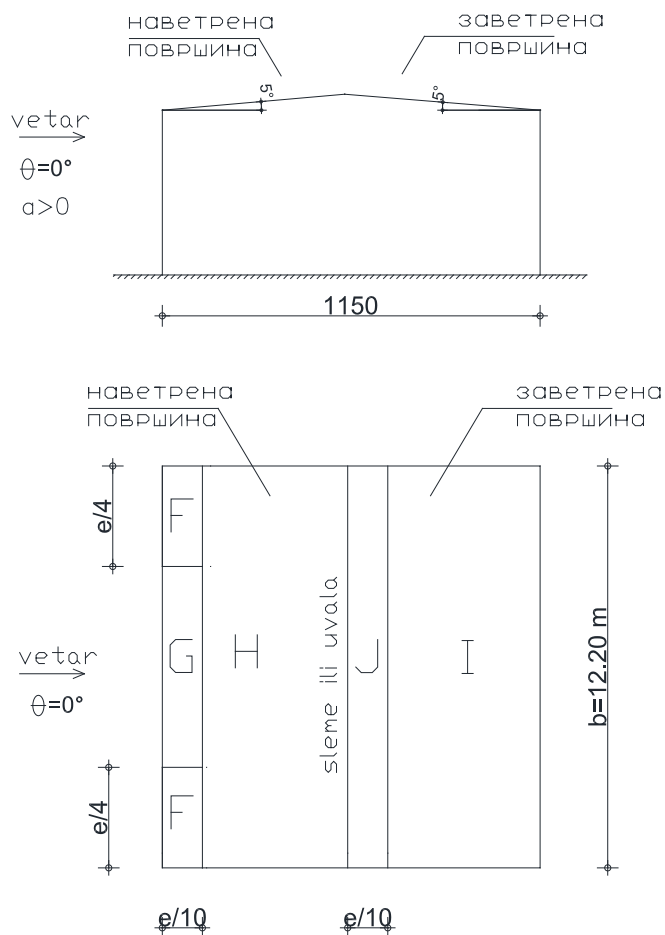
$$e/4 = 4,25 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,70 \text{ m}$$

$$h < b$$



слика 3: референтна висина z_e , у зависности од димензија h и b , као и одговарајући дијаграм притиска ветра



слика 4: коефицијенти притиска за зграде

табела 3: Коефицијенти спољашњег притиска ветра за двоводне кровове (ЕВРОКОД 1, део 1-4)

Угао нагиба крова	Зона за правац ветра $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0		-0,6		-0,6	

- ✓ Напомена: С обзиром да ветар има сушуће дејство (одизање, $\max W < 0$) на целој кровној површини као меродавна дејства третирана су стална дејства и дејства од снега.

1.2 Парцијални коефицијенти и комбинације дејства

Парцијални коефицијенти за сигурност за дејства

стална дејства – неповољан утицај $\gamma_G = 1,35$;

променљива дејства – неповољан утицај $\gamma_Q = 1,50$

Парцијални коефицијент сигурности за материјале – дрво и материјали на бази дрвета
 $\gamma_m = 1,3$

Корекциони фактор k_{mod} за дрво I експлоатационе класе

$k_{mod} = 0,60$ (за стално дејство - G)

$k_{mod} = 0,80$ (за средњетрајно дејство - Q)

→ $k_{mod} = 0,80$

У општем случају комбинација сталних и променљивих дејстава:

$$S_d = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$ – карактеристична вредност сталног деловања

$Q_{k,1}$ – карактеристична вредност првог променљивог деловања у комбинацији

$Q_{k,i}$ – карактеристична вредност осталих променљивих деловања у комбинацији

$\gamma_{G,j}$ – парцијални коефицијент сигурности за стална деловања

$\gamma_{Q,i}$ – парцијални коефицијент сигурности за променљива деловања

$\Psi_{Q,i}$ – коефицијент комбинације деловања дефинисан Еврокодом 5

$\Psi_0 = 0,7$ за снег

$\Psi_0 = 0,6$ за ветар

Могуће комбинације дејства

1. Стално дејство + снег (*меродавна комбинација за рожњачу*)

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,50 \cdot Q_{k,1}, \quad Q_{k,1} = Q_{k,s}$$

2. Стално дејство + ветар

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,50 \cdot Q_{k,1}, \quad Q_{k,1} = Q_{k,w}$$

3. Стално дејство + снег + ветар

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,50 \cdot Q_{k,1} + 1,50 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,i} \quad Q_{k,1} = Q_{k,s}; Q_{k,i} = Q_{k,w}$$

4. Стално дејство + ветар + снег

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,50 \cdot Q_{k,1} + 1,50 \cdot 0,7 \cdot Q_{k,i} \quad Q_{k,1} = Q_{k,w}; Q_{k,i} = Q_{k,s}$$

5. Поједностављено правило и комбинација стално + снег + ветар

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,35 \cdot Q_{k,1} + 1,35 \cdot Q_{k,i}$$

1.2 Геометријске карактеристике попречног пресека роњаче

Геометријске карактеристике роњаче $b/h = 14/19$ cm

$$A = 0,14 \cdot 0,19 = 0,0266 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,14 \cdot 0,19^2}{6} = 0,000842 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{0,19 \cdot 0,14^2}{6} = 0,000621 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,14 \cdot 0,19^3}{12} = 0,000080 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{0,19 \cdot 0,14^3}{12} = 0,0000434 \text{ cm}^4$$

1.3 Шеме оптерећења и статички утицаји у роњачи

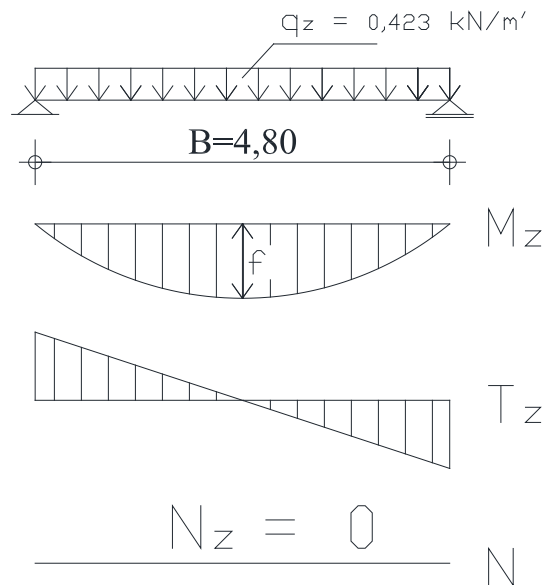
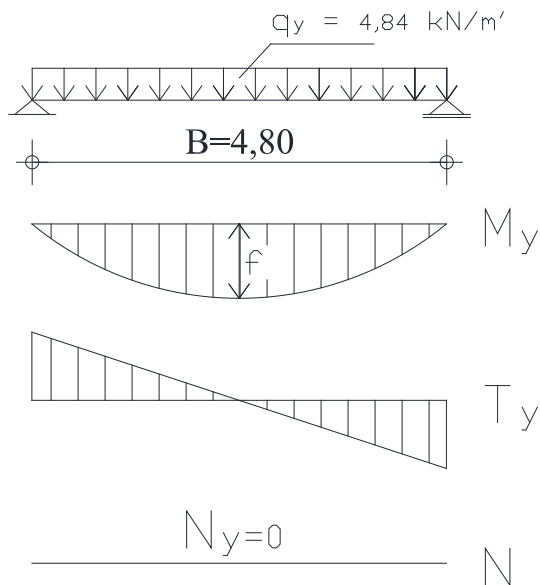
- Роњача је статичког система просте греде распона $B = 4,80$ m (размак између главних носача).

Рачунске вредности дејстава у правцу одговарајућих оса:

$$q_d = 1,35 \cdot 0,444 + 1,5 \cdot 0,80 = 1,799 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{z,d} = \lambda \cdot \cos 5^\circ \cdot q_d = 2,70 \cdot \cos 5^\circ \cdot 1,799 = 4,84 \text{ kN/m}'$$

$$q_{y,d} = \lambda \cdot \sin 5^\circ \cdot q_d = 2,70 \cdot \sin 5^\circ \cdot 1,799 = 0,423 \text{ kN/m}'$$



$$M_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot B^2}{8} = \frac{4,84 \cdot 4,8^2}{8} = 13,94 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{zy,d} \cdot B^2}{8} = \frac{0,423 \cdot 4,8^2}{8} = 1,22 \text{ kNm}$$

$$T_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot B}{2} = \frac{4,84 \cdot 4,8}{2} = 11,62 \text{ kN}$$

$$T_{z,d} = \frac{q_{z,d} \cdot B}{2} = \frac{0,423 \cdot 4,8}{2} = 1,02 \text{ kN}$$

1.4 Контрола напона

1.4.1 Контрола напона косог савијања

- Напони савијања у односу на главне осе $y - y$ и $z - z$:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{13,94}{0,000842} = 16\,555,82 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1,22}{0,000621} = 1\,964,57 \text{ kN/m}^2$$

- Одговарајуће чврстоће на савијање:

$$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{32 \cdot 0,80}{1,30} = 19,69 \text{ MN/m}^2$$

- Услов сигурности носача на савијање који мора бити испуњен:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$k_m = 0,7$ фактор редукције за правоугаони попречни пресек

$$\frac{16,56}{19,69} + 0,7 \cdot \frac{1,96}{19,69} = 0,91 < 1 \rightarrow \text{услов је испуњен}$$

1.4.2 Провера напона смицања

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

$\tau_{v,d}$ – прорачунска вредност напона смицања

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot h}$$

$f_{v,d}$ – прорачунска вредност чврстоће при смицању

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{3,50 \cdot 0,80}{1,30} = 2,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- пресек над ослонцем А (В)

$$T = \sqrt{T_y^2 + T_z^2}$$

$$T = \sqrt{11,25^2 + 0,973^2}$$

$$T = 11,292 \text{ kN}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11\,292}{140 \cdot 190} = 0,425 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{v,d} < f_{v,d}$$

Б) Гранично стање употребљивости

1.5 Провера вредности угиба рожњаче у средини распона

1.5.1 Изрази за вредност угиба у карактеристичним пресецима

$$U_{inst} = U_{inst}^{\sigma} + U_{inst}^{\tau}$$

U_{inst} – вредност тренутне деформације (угиба) елемента изазване деловањем само једне врсте деловања (стално или повремено деловање)

$$U_{fin} = U_{inst}(1 + k_{def})$$

U_{fin} – коначне тренутне деформације (угиба) елемента изазване деловањем само једне врсте деловања (стално или повремено деловање)

k_{def} – вредност фактора који узима у обзир повећање деформације са временом услед комбинованог утицаја течења и влаге

$k_{def,G} = 0,60$ за стално оптерећење

$k_{def,Q} = 0,0$ за краткотрајно оптерећење

- Изрази за вредност угиба у средини распона рожњаче

$$U_{inst} = U_{inst}^{\sigma} + U_{inst}^{\tau}$$

$$U_{inst}^{\sigma} = \frac{5}{384} \frac{q_d \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I} = \frac{5}{48} \frac{M_d \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I}$$

$$U_{inst}^{\tau} = 0,15 \frac{q_d \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A} = 1,20 \frac{M_d}{G_{0,mean} \cdot A}$$

1.5.2 Дозвољене вредности угиба у карактеристичним пресецима

-Граничне вредности угиба носача дате су у следећој табели у зависности од ослањања носача

табела 4: примери граничних вредности угиба носача (Еврокод 5)

Тип носача	W_{inst}	W_{fin}
Носачи на два ослоњаца	$l/300-l/500$	$l/150-l/300$
Конзолни носачи	$l/150-l/250$	$l/75-l/150$

- пресек у средини распона

$$U_{inst} = \frac{l}{500} = \frac{4600}{300} = 13,67 \text{ mm}$$

$$U_{fin} = \frac{l}{250} = \frac{4600}{175} = 26,29 \text{ mm}$$

1.5.3 Вредност угиба у карактеристичним пресецима

- Комбинације сталних и променљивих дејстава за прорачун угиба

1. Стално дејство + снег

$$S_d = G_{k,j} + Q_{k,1} \quad Q_{k,1} = Q_{k,s}$$

$$q_{y,d}^{G_{k,j}} = 0,444 \cdot 2,70 \cdot \cos 5^\circ = 1,194 \text{ kN/m'}$$

$$q_{z,d}^{G_{k,j}} = 0,444 \cdot 2,70 \cdot \sin 5^\circ = 0,105 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d}^{Q_{k,1}} = 0,80 \cdot 2,70 \cdot \cos 5^\circ = 2,152 \text{ kN/m'}$$

$$q_{z,d}^{Q_{k,1}} = 0,80 \cdot 2,70 \cdot \sin 5^\circ = 0,188 \text{ kN/m'}$$

$$U_{inst}^\sigma = \frac{5}{384} \frac{q_d \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I} = \frac{5}{48} \frac{M_d \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I}$$

$$U_{inst}^\tau = 0,15 \frac{q_d \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A} = 1,20 \frac{M_d}{G_{0,mean} \cdot A}$$

$$U_{inst} = U_{inst}^\sigma + U_{inst}^\tau$$

$$U_{inst,y}^{G_{k,j}} = U_{inst,1,y} = \frac{5}{384} \frac{g_y \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} + 0,15 \frac{g_y \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A}$$

$$U_{inst,y}^{G_{k,j}} = U_{inst,1,y} = \frac{5}{384} \frac{1,194 \cdot 4\,600^4}{13\,700 \cdot 80\,021\,666,67} + 0,15 \frac{1,194 \cdot 4\,600^2}{850 \cdot 26\,600} = 6,517 \text{ mm}$$

$$U_{inst,z}^{G_{k,j}} = U_{inst,1,z} = \frac{5}{384} \frac{g_z \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} + 0,15 \frac{g_z \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A}$$

$$U_{inst,z}^{G_{k,j}} = U_{inst,1,z} = \frac{5}{384} \frac{0,105 \cdot 4\,600^4}{13\,700 \cdot 43\,446\,666,67} + 0,15 \frac{0,105 \cdot 4\,600^2}{850 \cdot 26\,600} = 1,043 \text{ mm}$$

$$U_{inst,1} = \sqrt{U_{inst,1,y}^2 + U_{inst,1,z}^2} = \sqrt{6,517^2 + 1,043^2} = 6,60 \text{ mm}$$

$$U_{fin,1} = U_1 = U_{inst,1}(1 + k_{def,G})$$

$$U_1 = 6,60(1 + 0,80) = 11,88 \text{ mm} < U_{inst}^{gr.vred.} = 13,67 \text{ mm}$$

$$U_{inst,y}^{Q_{k,1}} = U_{inst,2,y} = \frac{5}{384} \frac{q_y \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_y} + 0,15 \frac{q_y \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A}$$

$$U_{inst,y}^{Q_{k,1}} = U_{inst,2,y} = \frac{5}{384} \frac{2,152 \cdot 4\,600^4}{13\,700 \cdot 80\,021\,666,67} + 0,15 \frac{2,152 \cdot 4\,600^2}{850 \cdot 26\,600} = 11,746 \text{ mm}$$

$$U_{inst,z}^{Q_{k,1}} = U_{inst,2,z} = \frac{5}{384} \frac{q_z \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I_z} + 0,15 \frac{q_z \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A}$$

$$U_{inst,z}^{Q_{k,1}} = U_{inst,2,z} = \frac{5}{384} \frac{0,188 \cdot 4\,600^4}{13\,700 \cdot 80\,021\,666,67} + 0,15 \frac{0,188 \cdot 4\,600^2}{850 \cdot 26\,600} = 1,026 \text{ mm}$$

$$U_{inst,2} = \sqrt{U_{inst,2,y}^2 + U_{inst,2,z}^2} = \sqrt{11,746^2 + 1,026^2} = 11,791 \text{ mm}$$

$$U_{fin,2} = U_1 = U_{inst,12}(1 + k_{def,G})$$

$$U_2 = 11,791(1 + 0) = 11,791 \text{ mm}$$

$$U_{fin} = U_{net} = U_1 + U_2 = 13,67 + 11,791 = 25,461 \text{ mm} < U_{fin}^{gr.vred.} = 26,29 \text{ mm}$$

Коначно усвојене димензије рожњаче 14/19 cm

2. Прорачун главног носача

2.1 Анализа оптерећења

2.1.1 Стална дејства:

- Од кровног покривача $g_{kp} = 0,40 \text{ kN/m}^2$ основе крова

- Сопствена тежина рожњаче за усвојени пресек 14/19 cm

$$g_{roz} = b \cdot h \cdot \gamma_d = 0,14 \cdot 0,19 \cdot 4,5 = 0,12 \text{ kN/m}'$$

$$g_{roz}' = 2 \cdot g_{roz} \cdot B/2 \lambda = 2 \cdot 0,12 \cdot 2,70 = 0,213 \text{ kN/m}'$$

- Инсталације

$$g_{ins} = 0,10 \text{ kN/m}^2 \text{ основе крова}$$

- Сопствена тежина главног носача (процењено)

$$g_{GN} = 1,20 \text{ kN/m}' \text{ основе крова}$$

-Метални елементи (спојна средства, челичне папуче и лимови)

$$g_{me} = 0,06 \text{ kN/m}^2 \text{ основе крова}$$

$$G = (g_{kp} + g_{ins} + g_{me}) \cdot B + g_{roz}' + g_{GN}$$

$$G = (0,40 + 0,10 + 0,06) \cdot 4,8 + 0,213 + 1,20 = 4,10 \text{ kN/m}' \text{ основе крова}$$

Променљива дејства

2.1.2 Оптерећење снегом

$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$ по основи крова¹

$$s' = s \cdot B = 0,8 \cdot 4,8 = 3,84 \text{ kN/m}'$$

2.1.3 Оптерећење ветром

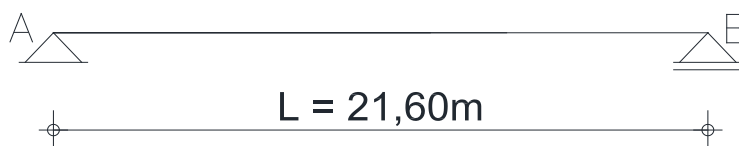
- ✓ Напомена: С обзиром да ветар има сушуће дејство (одизање, $\max W < 0$) на целој кровној површини као меродавна дејства у даљем прорачуну главног носача третирана су стална дејства и дејства од снега.²

¹ оптерећење снегом детаљно срачунато у тачки 1.1.3 Оптерећење снегом

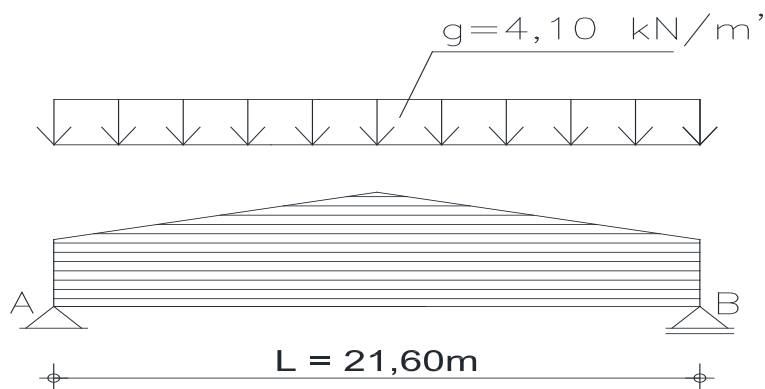
² оптерећење ветром детаљно срачунато у тачки 1.1.4 Оптерећење ветром

2.2 Статички систем главог носача и шеме оптерећења

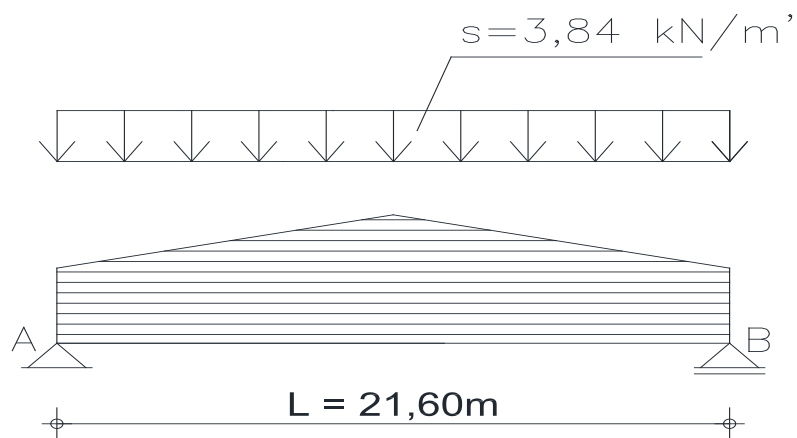
2.2.1 Статички систем главног носача



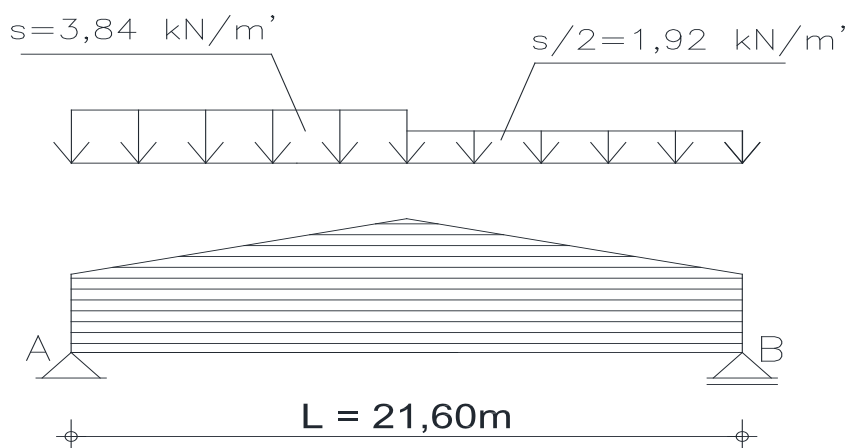
2.2.2 Шема оптерећења – стално оптерећење



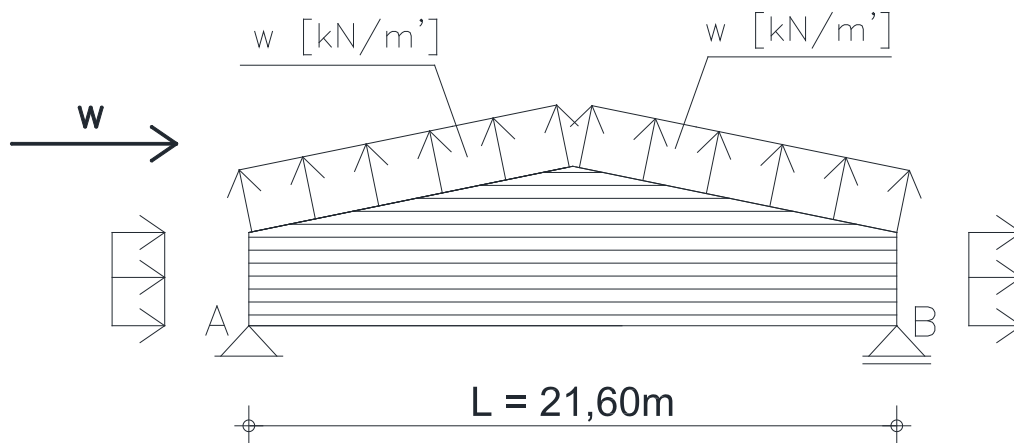
2.2.3 Шема оптерећења – симетрично оптерећење од снега



2.2.4 Шема оптерећења – несиметрично оптерећење од снега



2.2.4 Шема оптерећења –оптерећење од ветра



2.3 Одређивање висине носача

Висине носача у карактеристичним пресецима биће одређене из услова граничне носивости и употребљивости носача, узимајући у обзир и геометрију самог носача.

① Најмања потребна висина попречног пресека на ослонцу симетричног трапезастог носача из услова *носивости пресека на смичуће силе*

- Напон смицања на ослонцу носача

$$q = 1,35 \cdot G + 1,50 \cdot s' = 1,35 \cdot 4,10 + 1,50 \cdot 3,84 = 11,295 \text{ kN/m'}$$

$$T = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{12,295 \cdot 21,60}{2} = 121,986 \text{ kN}$$

$f_{v,d}$ – прорачунска вредност чврстоће при смицању

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = \frac{3,50 \cdot 0,80}{1,30} = 2,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot H_A} < f_{v,d} \Rightarrow H_A \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{121\,986}{200 \cdot 2,15} = 425,53 \text{ mm}$$

Потребна висина попречног пресека носача над ослонцем

$$H_A = 42,55 \text{ cm}$$

Потребна висина попречног пресека носача у слемени

$$H_{\text{ap}} = H_A + L \cdot \text{tg}\alpha = 42,55 + 0,5 \cdot 2160 \cdot \text{tg}5^\circ = 137,49$$

② Најмања потребна висина попречног пресека у средини распона симетричног трапезастог носача из услова *носивости пресека на савијање у слемenu носача*

$$\sigma_{m,ap,d} = k_r \cdot f_{m,d}$$

- Момент савијања у средини распона носача

$$M_{y,d,max} = M_{ap,d} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{11,295 \cdot 21,6^2}{8} = 658,72 \text{ kNm}$$

$$k_1 = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg}\alpha + 5,4\text{tg}^2\alpha$$

$$k_r = 1$$

k_1 – коефицијент корекције напона савијања у слемenu носача

k_r – коефицијент корекције прорачунске вредности чврстоће савијања због закривљености ламела

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg}5^\circ + 5,4\text{tg}^25^\circ = 1,164$$

$f_{m,d}$ – прорачунска вредност чврстоће на савијање

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{32 \cdot 0,80}{1,30} = 19,69 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_1 \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_1 \frac{M_{ap,d}}{\frac{b \cdot H_{ap}^2}{6}} < f_{m,d} \Rightarrow H_{ap} > \sqrt{\frac{k_1 \cdot 6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot f_{m,d}}}$$

$$H_{ap} = \sqrt{\frac{k_1 \cdot 6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot f_{m,d}}} = \sqrt{\frac{1,164 \cdot 6 \cdot 658,72 \cdot 10^6}{200 \cdot 19,69}} = 1080,85 \text{ mm} = 108,08 \text{ cm}$$

Потребна висина попречног пресека носача над ослонцем

$$H_A = H_{ap} - L \cdot \text{tg}\alpha = 109 - 0,5 \cdot 2160 \cdot \text{tg}5^\circ = 14,50 \text{ cm}$$

③ Најмања потребна висина попречног пресека у средини распона симетричног трапезастог носача из услова *носивости пресека на затезање управно на влакна у подручју слемена носача*

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot H_{ap}^2}$$

При чему је:

$f_{t,90,d}$ → прорачунска вредност чврстоће на затезање управно на влакна

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{0,50 \cdot 0,80}{1,30} = 0,308 \text{ N/mm}^2$$

k_p → коефицијент корекције напона савијања

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha$$

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \tan 5^\circ = 0,0175$$

k_{dis} → коефицијент којим се узима у обзир ефекат расподеле напона у закривљеном делу носача

$k_{dis} = 1,4$ за обострано закошене греде

k_{vol} → запремински коефицијент

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$$

V_0 → референтна запремина од $0,01 \text{ m}^3$

V → запремина слемене зоне у m^3 која не треба да буде већа од $2Vb/3$, где је Vb укупна запремина греде

$$V = b \cdot h_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \text{tg} \alpha)$$

$$V = 200 \cdot h_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \text{tg} 5^\circ)$$

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{200 \cdot h_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \text{tg} 5^\circ)} \right)^{0,2}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot H_{ap}^2} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$$0,0175 \cdot \frac{6 \cdot 658,72 \cdot 10^6}{200 \cdot H_{ap}^2} \leq 1,4 \cdot \left(\frac{0,01 \cdot 10^9}{200 \cdot h_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \text{tg} 5^\circ)} \right)^{0,2} \cdot f_{t,90,d}$$

$$\frac{345828}{H_{ap}^2} \leq 1,4 \cdot \left(\frac{0,01 \cdot 10^9}{195,626} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{1}{h_{ap}^2} \right)^{0,2} \cdot 0,308$$

$$\frac{345828}{H_{ap}^2} \leq 3,77045 \cdot \left(\frac{1}{h_{ap}^2} \right)^{0,2}$$

$$\frac{345828}{H_{ap}^2} \leq 3,77045 \cdot \frac{1}{h_{ap}^{0,4}} \quad /* h_{ap}^2$$

$$345828 \leq 3,77045 \cdot h_{ap}^{1,6}$$

$$h_{ap}^{1,6} \geq 91\,720,523$$

$$h_{ap} \geq \sqrt[1,6]{91\,720,523}$$

$$h_{ap} \geq 1263,40 \text{ mm}$$

④ Најмања потребна висина попречног пресека у четвртини распона симетричног трапезастог носача из услова *носивости пресека на савијање*

$$M_{y,d}^{x=\frac{l}{4}} = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{l}{4} - \frac{q \cdot l}{4} \cdot \frac{l}{8} = \frac{q \cdot l}{8} \left(1 - \frac{l}{4}\right)$$

$$M_{y,d}^{x=\frac{l}{4}} = \frac{11,295 \cdot 21,60}{8} \left(21,60 - \frac{21,60}{4}\right) = 474,04 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = \frac{(1 + \text{tg}^2\alpha)M_{ap,d}}{W_{ap}} = \frac{M_{ap,d}}{\frac{b \cdot H_{ap}^2}{6}} < f_{m,d} \Rightarrow H_{ap} > \sqrt{\frac{(1 + \text{tg}^2\alpha) \cdot 6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot f_{m,d}}}$$

$$H_{ap} = \sqrt{\frac{(1 + \text{tg}^2 5^\circ) \cdot 6 \cdot 474,04 \cdot 10^6}{200 \cdot 19,69}} = 848,85 \text{ mm} = 84,88 \text{ cm}$$

Потребна висина попречног пресека носача над ослонцем

$$H_A = H_{ap} - \frac{1}{4}L \cdot \text{tg}\alpha = 85 - 0,25 \cdot 2160 \cdot \text{tg}5^\circ = 37,76 \text{ cm}$$

⑤ Најмања потребна висина попречног пресека у средини распона симетричног трапезастог носача из граничног услова *употребљивости, тј. максималног угиба у средини распона носача*

- Стално дејство

$$G = 4,10 \text{ kN/m}' \text{ основе крова}$$

- Дејство снега

$$s' = 3,84 \text{ kN/m}' \text{ основе крова}$$

$$M_{Gk,j}^{\text{def}} = 1,0 \frac{G \cdot l^2}{8} = 1,0 \frac{4,10 \cdot 21,60^2}{8} = 239,112 \text{ kNm}$$

$$M_{Qk}^{def} = 1,0 \frac{s \cdot l^2}{8} = 1,0 \frac{3,84 \cdot 21,60^2}{8} = 223,95 \text{ kNm}$$

-Граничне вредности угиба носача дате су у следећој табели у зависности од ослањања носача

табела 5: примери граничних вредности угиба носача (Еврокод 5)

Тип носача	W_{inst}	W_{fin}
Носачи на два ослонца	$l/300-l/500$	$l/150-l/300$
Конзолни носачи	$l/150-l/250$	$l/75-l/150$

- пресек у средини распона

$$U_{inst} = \frac{l}{300} = \frac{2160}{300} = 7,2 \text{ cm}$$

$$U_{fin} = \frac{l}{200} = \frac{2160}{200} = 10,80 \text{ cm}$$

- Приближна вредност момента инерције у средини распона носача (слеме)

$$\frac{5}{48} \cdot \frac{[M_{Gk,j}^{def}(1 + 0,6) + M_{Qk}^{def}(1 + 0)]l^2}{EI_y^{x=l/2}} \leq U_{inst}$$

$$I_y^{x=l/2} \geq \frac{5}{48} \cdot \frac{[M_{Gk,j}^{def}(1 + 0,6) + M_{Qk}^{def}(1 + 0)] \cdot l^2}{EU_{inst}}$$

$$I_y^{x=l/2} \geq \frac{5}{48} \cdot \frac{[239,112(1 + 0,6) \cdot 10^6 + 223,95(1 + 0) \cdot 10^6] \cdot 21600^2}{13\,700 \cdot 72}$$

$$I_y^{x=l/2} \geq 2,9884 \cdot 10^{10}$$

$$I_y^{x=l/2} = \frac{b \cdot H^3}{12} \Rightarrow H_{ap} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_y^{x=l/2}}{b}} = 1214,87 \text{ mm}$$

$$H_{ap} = 121,50 \text{ cm}$$

- Меродавна висина попречног пресека носача за даљи прорачун је највећа висина из предходна пет услова. У овом случају то је висина носача добијена из услова носивости пресека на смичуће силе у пресеку над ослонцем.

2.4 Геометрија главног носача и распоред ламела

- Усвојене вредности висина карактеристичних пресека симетрично трапезастог главног носача

$$t = 32 \text{ mm}$$

одабрана висина ламеле носача

$$H_{A, \text{potr}} \geq 425,5 \text{ mm}$$

најмања потребна висина на лежају носача

$$H_{A, \text{potr}}/t > 425,5/32 = 13,30 \text{ ком}$$

најмањи потребан број ламела у пресеку над ослонцем носача

Усвојено је $n_{\beta} = 14$ ком ламела у попречном пресеку носача над ослонцем А (В)

Усвојено је $n_{\beta} = 13$ ком ламела у попречном пресеку на крајевима носача

$$H_A = n_{\beta} \cdot t = 14 \cdot 32 = 448 \text{ mm}$$

усвојена висина пресека над ослонцем А (В)

$$H_1 = n_{\beta} \cdot t = 13 \cdot 32 = 416 \text{ mm}$$

усвојена висина пресека на крају носача

- Усвојен број ламела у попречном пресеку у подручју слемена носача

$$(n_{\alpha}^{\text{potr}} - 1) = 0,5 \cdot l \cdot \text{tg}\alpha/t > 0,5 \cdot 2160 \cdot \text{tg}5^{\circ}/3,2 = 29,53 \text{ ком}$$

најмањи потребан број

број ламела у пресеку у зони слемена носача

$$n_{\alpha}^{\text{potr}} = 30 \text{ ком}$$

- Усвојене вредности висина носача у карактеристичним пресецима - подручје слемена

$$H_2 = n_{\alpha}^{\text{potr}} \cdot t = 30 \cdot 3,2 = 960 \text{ mm}$$

висинска разлика на крају и слемени носача

$$H_{\text{ap}} = H_1 + H_2 = 416 + 960 = 1376 \text{ mm}$$

усвојена висина пресека у подручју слемена носача

Корекција угла нагиба горње ивице главног носача

$$\text{tg}\alpha = \frac{H_{\text{ap}} - H_1}{0,5 \cdot l} = \frac{1376 - 416}{0,5 \cdot 21600} = 0,088889 \Rightarrow \alpha = 5,08^{\circ}$$

2.5 Контрола напона

2.5.1 контрола напона смицања у пресеку над ослонцем носача А (В)

- Напон смицања на ослонцу носача

$$q = 1,35 \cdot G + 1,50 \cdot s' = 1,35 \cdot 4,10 + 1,50 \cdot 3,84 = 11,295 \text{ kN/m'}$$

$$T = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{12,295 \cdot 21,60}{2} = 121,986 \text{ kN}$$

$f_{v,d}$ – прорачунска вредност чврстоће при смицању

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = \frac{3,50 \cdot 0,80}{1,30} = 2,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{b \cdot H_A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{121\,986}{200 \cdot 448} = 2,042 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{v,d} = 2,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

2.5.2 Контрола напона притиска управно на правац пружања влакана на месту ослањања главног носача за ширину лежишне плоче $b = 20 \text{ cm}$

- Потребна дужина лежишне плоче

$$l_a^{\text{potr}} = \frac{T}{b \cdot f_{c,90,d}}$$

- Чврстоћа на притисак управно на влакна

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,g,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = \frac{3,30 \cdot 0,80}{1,30} = 2,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

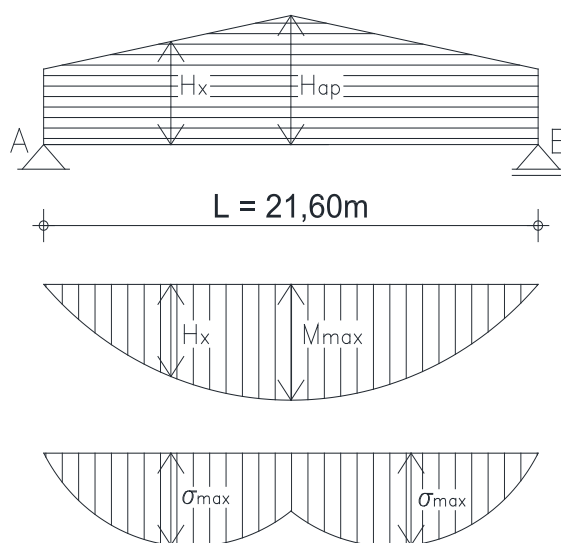
$$l_a^{\text{potr}} = \frac{121\,986}{200 \cdot 2,03} = 300,46 \text{ mm} \Rightarrow l_a = 305 \text{ mm}$$

- напон притиска управно навлакна

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{T}{b \cdot l_a} = \frac{121\,986}{200 \cdot 305} = 1,99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{c,90,d} = 2,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} < 1$$

2.5.3 Контрола напона савијања у карактеристичном пресеку x-x (највећи напон савијања)



слика 5: дијаграм момента савијања и напона савијања у главном носачу

- Положај пресека x-x у односу на ослонац A (B) носача

$$x = \frac{l}{2} \cdot \frac{H_A}{H_{ap}} = \frac{21600}{2} \cdot \frac{448}{1376} = 3516,27 \text{ mm} = 351,63 \text{ cm}$$

- Висина носача у карактеристичном пресеку x-x

$$H_x = H_A \left(2 - \frac{H_A}{H_{ap}} \right) = 448 \cdot \left(2 - \frac{448}{1376} \right) = 750,14 \text{ mm}$$

- Момент савијања у карактеристичном пресеку x-x

$$M_{y,d}^{x-x} = V_A \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2}$$

$$M_{y,d}^{x-x} = \frac{q \cdot l}{2} \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 0,5 \cdot 11,295 \cdot 3,516 \cdot (21,60 - 3,516) = 359,09 \text{ kNm}$$

- Геометријске карактеристике носача у карактеристичном пресеку x-x

$$W_x = \frac{b \cdot H_x^2}{6} = \frac{200 \cdot 750,14^2}{6} = 18\,757\,000,65 \text{ cm}^3$$

$$I_x = \frac{b \cdot H_x^3}{12} = \frac{200 \cdot 750,14^3}{12} = 7\,035\,188\,235 \text{ cm}^4$$

- прорачунска вредност напона савијањ

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{32 \cdot 0,80}{1,30} = 19,69 \text{ MN/m}^2$$

- напон савијања у карактеристичном пресеку x-x

$$\sigma_{m,y,d}^{x-x} = \frac{M_{y,d}^{x-x}}{W_x} = \frac{359,09 \cdot 10^6}{18\,757\,000,65} = 19,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{m,d} = 19,69 \text{ N/mm}^2$$

2.5.4 Контрола напона савијања у карактеристичном пресеку x-x у равни интрадоса (доња ивица носача)

$$\sigma_{m,0,d}^{x-x} = (1 + 4\text{tg}^2\alpha)\sigma_{m,0,d}^{x-x} = (1 + 4\text{tg}^2 5,08^\circ)\sigma_{m,0,d}^{x-x} = 1,023 \cdot 19,14 = 19,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}^{x-x}}{f_{m,d}} = \frac{19,58}{19,69} = 0,99 < 1$$

2.5.5 Контрола напона савијања у карактеристичном пресеку x-x у равни екстрадоса –ослабљена горња ивица носача (косо засечен екстрадос)

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\gamma + \cos^2\gamma}; \quad \gamma = \alpha$$

$$f_{m,y,d} = \frac{19,69}{\frac{19,69}{2,03} \cdot \sin^2 5,08 + \cos^2 5,08} = 18,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,0,d}^{x-x} = (1 - 4\text{tg}^2\alpha)\sigma_{m,0,d}^{x-x} = (1 - 4\text{tg}^2 5,08^\circ)\sigma_{m,0,d}^{x-x} = 0,968 \cdot 19,14 = 18,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}^{x-x}}{f_{m,y,d}} = \frac{18,52}{19,52} = 0,995 < 1$$

2.5.6 Контрола напона савијања у слемени обострано закошеног носача

- Момент савијања у средини распона носача

$$M_{ap,d} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{11,295 \cdot 21,6^2}{8} = 658,72 \text{ kNm}$$

$$W_{ap} = \frac{b \cdot H^2}{6} = \frac{200 \cdot 1376^2}{6} = 63\,112\,533,33 \text{ mm}^3$$

$$k_l = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg}\alpha + 5,4\text{tg}^2\alpha$$

$$k_r = 1$$

k_l – коефицијент корекције напона савијања у слемени носача

k_r – коефицијент корекције прорачунске вредности чврстоће савијања због закривљености ламела

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} 5,08^\circ + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 5,08^\circ = 1,167$$

$f_{m,d}$ – прорачунска вредност чврстоће на савијање

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = \frac{32 \cdot 0,80}{1,30} = 19,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_1 \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 1,167 \frac{658,72 \cdot 10^6}{63 \ 112 \ 533,33} = 12,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{m,d} = 19,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \frac{12,18}{1,0 \cdot 19,69} = 0,62$$

2.5.7 Контрола напона затезања управно на влакна у слемени обострано закошеног носача

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{\text{dis}} \cdot k_{\text{vol}} \cdot f_{t,90,d}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot H_{ap}^2}$$

При чему је:

$f_{t,90,d}$ → прорачунска вредност чврстоће на затезање управно на влакна

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = \frac{0,50 \cdot 0,80}{1,30} = 0,308 \text{ N/mm}^2$$

k_p → коефицијент корекције напона савијања

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha$$

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \tan 5,08^\circ = 0,0178$$

k_{dis} → коефицијент којим се узима у обзир ефекат расподеле напона у закривљеном делу носача

$k_{\text{dis}} = 1,4$ за обострано закошене греде

k_{vol} → запремински коефицијент

$$k_{\text{vol}} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$$

V_0 → референтна запремина од $0,01 \text{ m}^3$

$V \rightarrow$ запремина слемене зоне у m^3 која не треба да буде већа од $2Vb/3$, где је Vb укупна запремина греде

$$V = b \cdot h_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \operatorname{tg} \alpha)$$

$$V = 200 \cdot h_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \operatorname{tg} 5^\circ)$$

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01 \cdot 10^9}{200 \cdot 1376^2 \cdot (1 - 0,25 \cdot \operatorname{tg} 5,08^\circ)} \right)^{0,2} = 0,486$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot H_{ap}^2} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,0178 \cdot \frac{658,72 \cdot 10^6}{63 \cdot 112 \cdot 533,3} = 0,185 \text{ N/mm}^2 \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,486 \cdot 0,308 = 0,209 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,90,d} < k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

Б) Гранично стање употребљивости

2.6 Провера вредности угиба главног носача у карактеристичним пресецима

- Стално дејство

$$G = 4,10 \text{ kN/m}' \text{ основе крова}$$

- Дејство снега

$$s' = 3,84 \text{ kN/m}' \text{ основе крова}$$

$$M_{Gk,j}^{def} = 1,0 \frac{G \cdot l^2}{8} = 1,0 \frac{4,10 \cdot 21,60^2}{8} = 239,112 \text{ kNm}$$

$$M_{Qk}^{def} = 1,0 \frac{s \cdot l^2}{8} = 1,0 \frac{3,84 \cdot 21,60^2}{8} = 223,95 \text{ kNm}$$

- Попречни пресек над ослонцем А (В) меродаван за утврђивање крутости носача

$$I_a = \frac{b \cdot H_a^3}{12} = \frac{200 \cdot 448^3}{12} = 1 \, 498 \, 589 \, 867 \text{ mm}^4$$

- Коефицијент утицаја промене висине између пресека на ослонцу и пресека у средини распона (место највећег момента савијања)

$$k_{\sigma} = \frac{(H_A/H_{Ap})^3}{0,15 + 0,85 \cdot (H_A/H_{Ap})} = \frac{(448/1376)^3}{0,15 + 0,85 \cdot (448/1376)} = 0,08$$

$$k_{\tau} = \frac{2}{1,0 + (H_{Ap}/H_A)^{2/3}} = \frac{2}{1,0 + (1376/448)^{2/3}} = 0,642$$

k_{σ} – допринос нормалних напрезања савијања

k_{τ} – допринос смичућих напрезања при савијању

- Тренутне вредности угиба (поцетне вредности угиба) за појединачна деловања

$$U_{inst} = U_{inst}^{\sigma} + U_{inst}^{\tau}$$

$$U_{inst}^{\sigma} = k_{\sigma} \frac{5}{384} \frac{q_d \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot I} = k_{\sigma} \frac{5}{48} \frac{M_d \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_a}$$

$$U_{inst}^{\tau} = k_{\tau} \cdot 1,20 \frac{M_d}{G_{0,mean} \cdot A}$$

$$U_{inst} = U_{inst}^{\sigma} + U_{inst}^{\tau}$$

$$U_{inst,\sigma}^{G_{k,j}} = 0,08 \frac{5}{48} \frac{239,112 \cdot 1000 \cdot 21600^2}{13,70 \cdot 1\,498\,589\,867} = 40,28 \text{ mm} = 4,03 \text{ cm}$$

$$U_{inst,\tau}^{G_{k,j}} = 0,642 \cdot 1,20 \frac{239,112 \cdot 1000}{0,85 \cdot 89\,600} = 2,11 \text{ mm} = 0,211 \text{ cm}$$

$$U_{inst}^{G_{k,j}} = U_{inst,\sigma}^{G_{k,j}} + U_{inst,\tau}^{G_{k,j}} = 4,03 + 0,211 = 4,241 \text{ cm} - \text{ почетна деформација од сталног}$$

дејства

$$U_{inst,\sigma}^{S_{k,j}} = 0,08 \frac{5}{48} \frac{223,95 \cdot 1000 \cdot 21600^2}{13,70 \cdot 1\,498\,589\,867} = 36,63 \text{ mm} = 3,66 \text{ cm}$$

$$U_{inst,\tau}^{S_{k,j}} = 0,642 \cdot 1,20 \frac{223,95 \cdot 1000}{0,85 \cdot 89\,600} = 1,86 \text{ mm} = 0,186 \text{ cm}$$

$$U_{inst}^{S_{k,j}} = U_{inst,\sigma}^{S_{k,j}} + U_{inst,\tau}^{S_{k,j}} = 3,66 + 0,186 = 3,846 \text{ cm} - \text{ почетна деформација од дејства}$$

снега

- Коначне вредности угиба (вертикалних деформација) носача од појединачних деловања

коначни угиб од сталног дејства

$$U_1 = U_{\text{fin},g} = U_{\text{inst},G}(1 + k_{\text{def},G}) = 4,241 \cdot (1 + 0,60) = 6,78 \text{ cm}$$

коначни угиб од дејства снега

$$U_2 = U_{\text{fin},s} = U_{\text{inst},s}(1 + k_{\text{def},s}) = 3,85 \cdot (1 + 0) = 3,85 \text{ cm}$$

коначни угиб од истовременог сталног дејства и дејства снега

$$U_{\text{fin}} = U_{\text{net}} = U_1 + U_2 - U_0 = 6,78 + 3,85 = 10,63 \text{ cm} < U_{\text{fin}}^{\text{gr.vred.}} = 10,80 \text{ cm}$$

$$U_{\text{fin}}^{\text{gr.vred.}} = \frac{l}{200} = \frac{2160}{200} = 10,8 \text{ cm}$$

- Прорачун угиба носача са замењујућим попречним пресеком

- Геометријска својства замењујућег попречног пресека

$$I_i = \left(0,34 + 0,66 \cdot \sqrt{\frac{I_A}{I_{\text{ap}}}} \right) \cdot I_{\text{ap}} = \left(0,34 + 0,66 \cdot \sqrt{\frac{149\,858,9867}{4\,342\,142,293}} \right) * 4\,342\,142,293$$

$$I_i = 2\,008\,727,534 \text{ cm}^4$$

$$I_i = \frac{b \cdot H_i^3}{12} \Rightarrow H_i = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_i}{b}}$$

$$H_i = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 2\,008\,727,534}{20}} = 106,42 \text{ cm}$$

$$A_i = b \cdot H_i = 200 \cdot 106,42 = 98\,240 \text{ mm}^2$$

$$U_{\text{inst},\sigma}^{G_{k,j}} = \frac{5\,239,112 \cdot 1000 \cdot 21600^2}{48\,13,70 \cdot 20\,087\,275\,340} = 42,23 \text{ mm} = 4,22 \text{ cm}$$

$$U_{\text{inst},\tau}^{G_{k,j}} = 1,20 \frac{239,112 \cdot 1000}{0,85 \cdot 212\,840} = 1,59 \text{ mm} = 0,159 \text{ cm}$$

$U_{inst}^{G_{k,j}} = U_{inst,\sigma}^{G_{k,j}} + U_{inst,\tau}^{G_{k,j}} = 4,22 + 0,159 = 4,38 \text{ cm}$ - почетна деформација од сталног дејства

$$U_{inst,\sigma}^{S_{k,j}} = \frac{5}{48} \frac{223,95 \cdot 1000 \cdot 21600^2}{13,70 \cdot 20\,087\,275\,340} = 39,55 \text{ mm} = 3,955 \text{ cm}$$

$$U_{inst,\tau}^{S_{k,j}} = 1,20 \frac{223,95 \cdot 1000}{0,85 \cdot 212\,840} = 1,485 \text{ mm} = 0,1485 \text{ cm}$$

$U_{inst}^{S_{k,j}} = U_{inst,\sigma}^{S_{k,j}} + U_{inst,\tau}^{S_{k,j}} = 3,955 + 0,1485 = 4,10 \text{ cm}$ - почетна деформација од дејства снега

- Коначне вредности угиба (вертикалних деформација) носача од појединачних деловања

$$U_1 = U_{fin,g} = U_{inst,G} (1 + k_{def,G}) = 4,38 \cdot (1 + 0,60) = 6,58 \text{ cm}$$

коначни угиб од сталног дејства

$$U_2 = U_{fin,s} = U_{inst,s} (1 + k_{def,s}) = 4,10 \cdot (1 + 0) = 4,10 \text{ cm}$$

коначни угиб од дејства снега

$$U_{fin} = U_{net} = U_1 + U_2 - U_0 = 6,58 + 4,10 = 10,68 \text{ cm} < U_{fin}^{gr.vred.} = 10,80 \text{ cm}$$

$$U_{fin}^{gr.vred.} = \frac{1}{200} = \frac{2160}{200} = 10,8 \text{ cm}$$

2.7 Доказ бочне стабилности – провера стабилности трапезастог носача у карактеристичном пресеку x-x

Бочна торзиона стабилност греде (главног носача) мора да се провери у случају да постоји само деловања момента M_y око „јаче“ y-осе

- Геометријске карактеристике носача у карактеристичном пресеку x-x

$H_x = 750,14 \text{ mm}$ – висина носача у карактеристичном пресеку x – x

l_{ef} – ефективна дужина носача

$l_{ef} = a_s = 570 \text{ cm}$ – размак чворова спрегова (придржајућих тачака)

$\lambda_{rel,m}$ – релативна виткост за случај савијања

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$\sigma_{m,crit}$ – критична вредност напона савијања израчуната према класичној

теорији стабилности, користећи 5% – ни фрактил за својства крутости

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 E_{0,05}}{l_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot 200^2 \cdot 11\,100}{5700 \cdot 750,14} \sqrt{\frac{850}{13\,700}} = 81,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{32}{81,22}} = 0,63 < 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1$$

$$k_{crit} = 1 \quad \text{за } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{за } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{за } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

- Доказ носивости на савијање (на вертикалне утицаје) са провером стабилности пресека x-x

$$\sigma_{m,y,d}^{x-x} < k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = 19,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d}^{x-x} = \frac{M_{y,d}^{x-x}}{W_x} = 19,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d} = 1,0 \cdot 19,69 = 19,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}^{x-x}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}} = \frac{19,14}{1,0 \cdot 19,69} = 0,957$$

3. Прорачун и анализа оптерећења конструкције спрега – попречни кровни спрега

3.1 Анализа оптерећења и статички утицаји у конструкцији спрега

Анализа оптерећења

Оптерећење од ветра $W = q_p \cdot C_p \cdot A$

$$^3 q_p = 0,362 \text{ kN/m}^2$$

$$A = \frac{z}{2}$$

$$z = \frac{7,124 + 8,50}{2} = 7,812 \text{ m}$$

$$A = \frac{7,812}{2} = 3,906 \text{ m}$$

$C_{pe} = 1,7$ – коефицијент спољашњег притиска ветра (табела 3 – страна 8.)

$$C_{pi} = 0,75 \cdot C_{pe} = 1,275$$

$$C_p = 1,7 + 1,275 = 2,975$$

$$W = 0,362 \cdot 2,975 \cdot 3,906 = 4,207 \text{ kN/m'}$$

Прорачунске комбинације деловања

Општи облик прорачунске комбинације деловања

Парцијални коефицијенти сигурности за дејства:

$$\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,50$$

- Дејство ветра

$$q_w = 1,50 \cdot 0,60 \cdot 4,207 = 3,79 \text{ kN/m'}$$

→ хоризонтално деловање ветра

- Вертикална деловања

$$q_{y,d} = 11,295 \text{ kN/m'}$$

– укупно вертикално дејство на главни носач

$$\max M_{y,d} = 0,125 \cdot q_{y,d} \cdot l^2$$

$$\max M_{y,d} = 0,125 \cdot 11,295 \cdot 21,60^2 = 658,72 \text{ kN/m'}$$

³ оптерећење ветром детаљно срачунато у тачки 1.1.4 Оптерећење ветром

- Хоризонтална деловања од бочног извијања

- Просечна рачунска притискајућа сила

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{\max M_{y,d}}{h}$$

h – висина трапезастог носача у трећини распона

$$h = 757,33 \text{ мм}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{\pi \cdot b^2} \frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} \cdot \sqrt{\frac{E_{0,50}}{G_{50}}}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{21,6 \cdot 0,7573}{\pi \cdot 0,2^2} \frac{32}{11\,000}} \cdot \sqrt{\frac{13\,700}{850}} = 1,23$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{за } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,23 = 0,6375$$

$$N_d = (1 - 0,6375) \cdot \frac{658,72}{0,7573} = 315,31 \text{ kN}$$

- Додатно једнакоподељено оптерећење изазвано бочним извијањем носача

$$q_d = k_l \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l}$$

n – просечан број главних носача по спрегу

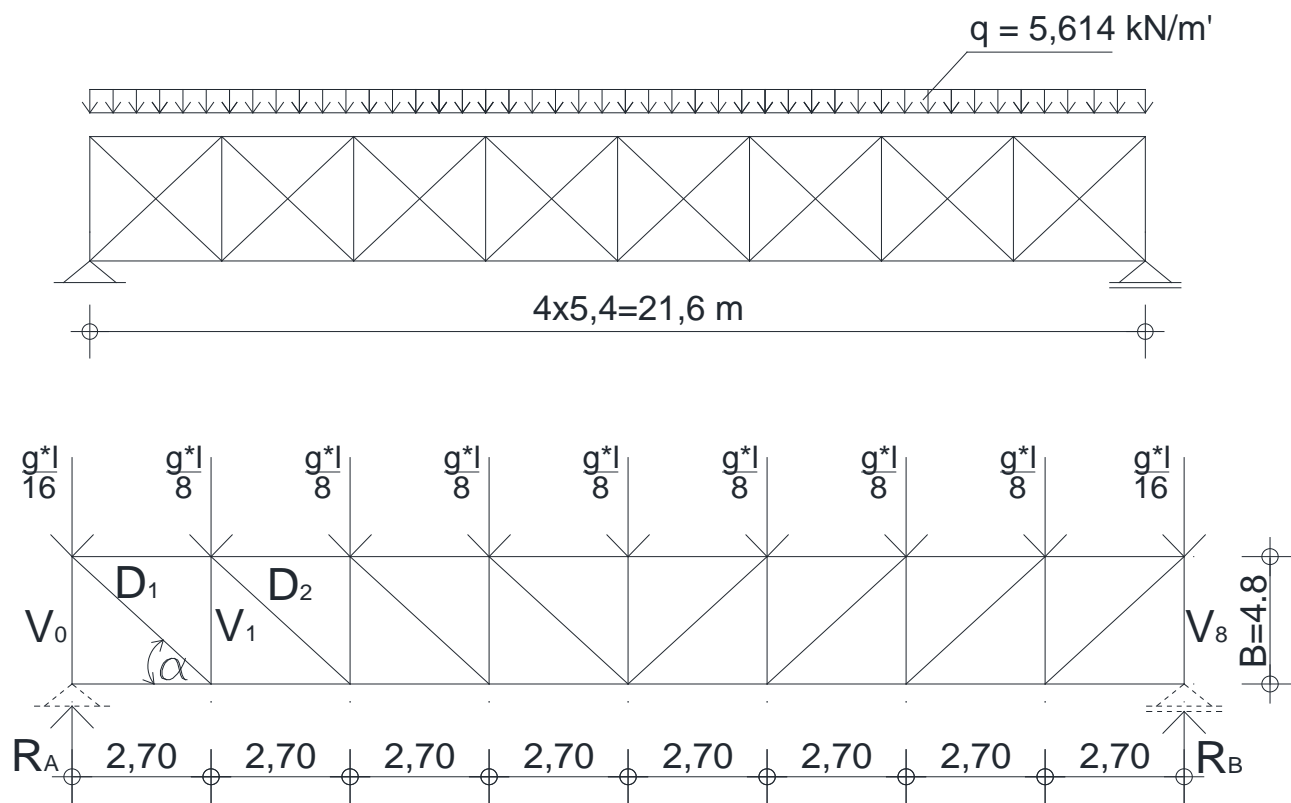
$$n = \frac{9}{2} = 4,5$$

$$k_l = \min \left\{ \sqrt{15/l} = \sqrt{15/21,6} = 0,833 \right.$$

$$k_l = 0,833$$

$$q_d = 0,833 \cdot \frac{4,5 \cdot 315,31}{30 \cdot 21,6} = 1,824 \text{ kN/m}$$

$$q = q_w + q_d = 3,79 + 1,824 = 5,614 \frac{\text{kN}}{\text{m}'} \rightarrow \text{укупно хоризонтално дејство на спрег}$$



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{4,80}{5,40} = 0,8889 \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} 0,889 = 41,63^\circ$$

$$\sin \alpha = \sin 41,63^\circ = 0,6644$$

$$\cos \alpha = \cos 41,63^\circ = 0,7474$$

$$R_A = R_B = \frac{(q_d + q_w) \cdot l}{2} = \frac{5,614 \cdot 21,60}{2} = 60,63 \text{ kN}$$

$$M_{\max} = \frac{(q_d + q_w) \cdot l^2}{8} = \frac{5,614 \cdot 21,60^2}{8} = 327,41 \text{ kNm}$$

-Силе у појасевима

$$-0 = U = \frac{M_{\max}}{B} = \frac{327,41}{4,80} = 68,21 \text{ kN}$$

-Силе у дијагоналама

$$D_{\max} = D_1 = \frac{R_A}{\sin \alpha} - \frac{0,5 \cdot P_2}{\sin \alpha} = \frac{60,63}{0,6644} - \frac{0,5 \cdot 30,3156}{0,6644} = 68,44 \text{ kN}$$

- Највећа сила притиска је у вертикали решетке V_1

$$S_{V_1} = \frac{(q_d + q_w) \cdot l}{2} = \frac{5,614 \cdot 21,60}{2} = 60,63 \text{ kN}$$

3.2 Гранично стање носивости – димензионисање елемената конструкције спрега

Појасеви конструкције решетке спрега јесу главни носачи од лепљеног ламинираног дрвета GL 32 експлоатационе класе 1 а вертикале конструкције решетке спрега јесу рожњаче такође од од лепљеног ламинираног дрвета GL 32 експлоатационе класе 1.

$$f_{c,0,k} = 29,0 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{\text{mod}} = 0,80$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 29,0}{1,3} = 17,85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Контрола напона у рожњачи – вертикала V₁

Пресек рожњаче 14/19 cm

Доказ носивости на притисак паралелно влакнима са савијањем узимајући у обзир утицај извијања

$$\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit}}}}$$

$$\sigma_{c,\text{crit}} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2}$$

$$\lambda_y = \frac{l_i}{i_y} = \frac{480}{0,289 \cdot 19} = 87,416$$

$$\lambda_z = \frac{l_i}{i_z} = \frac{480}{0,289 \cdot 14} = 118,636$$

$$\sigma_{c,\text{crit},y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2}$$

$$\sigma_{c,\text{crit},y} = \frac{\pi^2 \cdot 11\,100}{87,416^2} = 14,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,\text{crit},z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

$$\sigma_{c,\text{crit},z} = \frac{\pi^2 \cdot 11\,100}{118,636^2} = 7,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit},y}}} = \sqrt{\frac{17,85}{14,32}} = 1,116$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{17,85}{7,78}} = 1,512$$

$$k_{crit} = 1 \quad \text{за } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{за } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{за } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

$$k_{crit,y} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,116 = 0,723$$

$$k_{crit,z} = \frac{1}{1,512^2} = 0,437$$

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

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

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,116 - 0,5) + 1,116^2) = 1,154$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,512 - 0,5) + 1,512^2) = 1,694$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,154 + \sqrt{1,154^2 - 1,116^2}} = 0,691$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{1,694 + \sqrt{1,694^2 - 1,512^2}} = 0,407$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{S_{V1}}{A_{V1}} = \frac{60,63 \cdot 10^3}{140 \cdot 190} = 2,279 \text{ N/mm}^2$$

- Контрола напона у рожњачи

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

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

$$\frac{2,279}{0,691 \cdot 17,85} + \left(\frac{16,56}{0,723 \cdot 19,69} + 0,7 \frac{1,96}{0,437 \cdot 19,69} \right) = 0,91 < 1$$

$$\frac{2,279}{0,407 \cdot 17,85} + \left(0,7 \frac{16,56}{0,723 \cdot 19,69} + \frac{1,96}{0,437 \cdot 19,69} \right) = 0,85 < 1$$

Димензионисање затегнуте дијагонале спрега D_1

$$S_{D1} = 60,63 \text{ kN}$$

За материјал изабран челик Fe510 кружног попречног пресека

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{граница развлачења}$$

$$f_y = 510 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{граница кидања}$$

$$N_{Sd} \leq N_{t,Rd}$$

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M,0} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M,2} \end{array} \right.$$

претпостављена дијагонала $\varnothing 20 \text{ mm}$

$$A = \frac{20^2 \cdot \pi}{4} = 314,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = 314,0 \cdot \frac{355}{1,10} = 101\,336,36 \text{ N}$$

$$A_{net} = \frac{20^2 \cdot \pi}{4} = 314,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot 314,0 \cdot \frac{510}{1,25} = 115\,300,80 \text{ N}$$

$$N_{t,Rd} = 101\,336,36 \text{ N}$$

$$\frac{60\,630}{101\,336,36} = 0,598 < 1,0 \rightarrow \text{услов је испуњен}$$

4. Прорачун веза

4.1 Прорачун веза рожњаче за главни носач

$$R_y = \frac{q_{y,d} \cdot B}{2} = \frac{4,84 \cdot 4,8}{2} = 11,62 \text{ kN}$$

$$R_z = \frac{q_{z,d} \cdot B}{2} = \frac{0,423 \cdot 4,8}{2} = 1,02 \text{ kN}$$

- Веза се остварује металном папучом

Одабран је челик класе Fe 360:

– граница развлачења челика Fe 360 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

– граница кидања челика Fe 360 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

– парцијални фактор сигурности за челични материја $\gamma_M = 1,1$

Рожњача – лепљено ламинирано дрво класе 32 експлоатационе класе 1

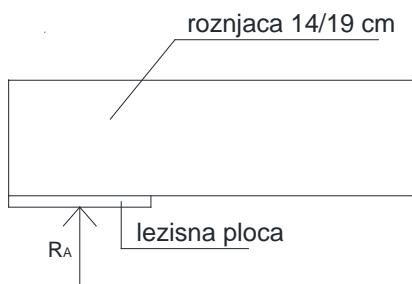
$$f_{c,90,k} = 3,30 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 3,30}{1,3} = 2,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Димензије доње лежишне плоче ①



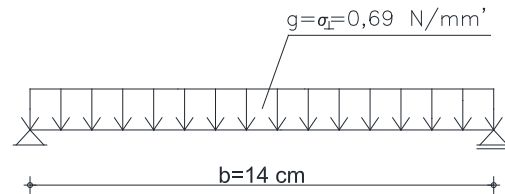
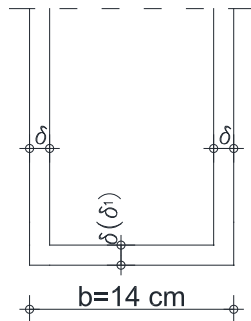
Ова плоча се рачуна као проста греда распона 14 cm (ширина рожњаче) оптерећена напоном притиска од реакције рожњаче R_y по јединици дужине.

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{y,d}}{A} = \frac{11,62 \cdot 10^3 \text{ N}}{l_p \cdot 140 \text{ mm}} \leq f_{c,90,d} = 2,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_p = \frac{11,62 \cdot 10^3}{2,3 \cdot 140} = 30,74 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,90,d,stv} = \frac{11,56 \cdot 10^3}{140 \cdot 120} = 0,69 \frac{N}{mm^2}$$

- Дебљина доње лежишне плоче



$$M_1 = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,69 \cdot 140^2}{8} = 1\,690,5 \frac{Nmm}{mm^2}$$

$$W_{potr} = \frac{M_1}{f_u} = \frac{1\,690,5}{360} = 4,70 \text{ mm}^3$$

$$W_{potr} = \frac{1 \cdot \delta^2}{6} \Rightarrow \delta = \sqrt{6 \cdot 4,70} = 5,31 \text{ mm}$$

Усвојено $\delta = 8 \text{ mm}$

Горња лежична плоча ②

Усвојено $\delta = 8 \text{ mm}$

- Напон испод плоче

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_{b,d}}{A} = \frac{2 \cdot 11,56 \cdot 10^3 \text{ N}}{120 \cdot 140} = 1,38 \frac{N}{mm^2} < f_{c,90,d} = 2,7 \frac{N}{mm^2}$$

- Прорачун везе рожњаче и челичне папуче

- Рачунске вредности носивости завртња М24 у двосечној вези дрво – челик код танких челичних лимова:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \end{array} \right.$$

$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$, где је

$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$ - запреминска тежина дрвета класе GL 32

d пречник завртња

y_a парцијални коефицијент сигурности за дрво

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 430$$

$$f_{h,2,k} = 26,80 \text{ N/mm}^2$$

R ачунска вредност момената течења спојног средства (завртњевима М24)

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{y_a} \rightarrow \text{карактеристична вредност момената течења завртњева М24}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2.6} \text{ Nmm}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot 24^{2.6} = 697945,8 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{697945,8}{1,1} = 634496,2 \text{ Nmm}$$

Коначно, рачунска носивост завртња М24:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot 15,72 \text{ N/mm}^2 \cdot 120 \text{ mm} \cdot 24 \text{ mm} \\ 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 634496,2 \text{ Nmm} \cdot 26,80 \text{ N/mm}^2 \cdot 24 \text{ mm}} \end{array} \right.$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 22 \ 636,8 \text{ N} = 22,63 \text{ kN} \\ 42854 \text{ N} = 42,85 \text{ kN} \end{array} \right.$$

- Прорачун завртњева за везу рожњаче и челичне папуче

$$n = \frac{R_y}{R_d} = \frac{11,62}{22,63} = 0,51 \Rightarrow \text{усвојено 2М24} \quad (4)$$

- Прорачун завртњева за везу главног носача и челичне папуче

- Рачунске вредности носивости завртња М24 у једносечној вези дрво – челик код танких челичних лимова:

$$R = \sqrt{R_z^2 + R_y^2}$$

$$R = \sqrt{11,62^2 + 1,02^2}$$

$$R = 11,66 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \end{array} \right.$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k, \text{ где је}$$

$$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3 - \text{запреминска тежина дрвета класе GL 32}$$

d пречник завртња

γ_a парцијални коефицијент сигурности за дрво

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 430$$

$$f_{h,2,k} = 26,80 \text{ N/mm}^2$$

R ачунска вредност момената течења спојног средства (завртњевима M24)

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_a} \rightarrow \text{карактеристична вредност момената течења завртњева M24}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2.6} \text{ Nmm}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot 24^{2.6} = 697945,8 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{697945,8}{1,1} = 634496,2 \text{ Nmm}$$

Коначно рачунска носивост завртња M24:

$$R_d = \min \left\{ \frac{0.4 \cdot 15.72 \text{ N/mm}^2 \cdot 120 \text{ mm} \cdot 24 \text{ mm}}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 634496,2 \text{ Nmm} \cdot 26,80 \text{ N/mm}^2 \cdot 24 \text{ mm}}} \right.$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 18\,109,44 \text{ N} = 18,11 \text{ kN} \\ 32\,854,92 \text{ N} = 32,85 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$n = \frac{R}{R_d} = \frac{11,66}{18,11} = 0,64$$

- За осигурање везе и преношење сила на главни носач усвојено 4 M24 (5)

4.2 Димензионисање везе у чвору спрега

- дијагонала (1) $D = 77,84 \text{ kN}$ усвојено $\varnothing 20 \text{ mm}$

- Везни лим дијагонале (2)

$$f_{c,90,k} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{mod} = 0,8$$

$$\gamma_M = 1,1$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 235}{1,1} = 170,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c,90} = \frac{D}{A} = \frac{68,44 \cdot 10^3 \text{ N}}{b \cdot l} \leq f_{c,90,d}$$

- усвојено $b = 80 \text{ mm}$

- Шав за везу дијагонале и лима

$$L_{w,s} > b \Rightarrow F_{w,Rd} = t \cdot L_{w,s} \cdot \left(0,90 - 0,45 \cdot \frac{L_{w,s}}{b}\right) f_u / \gamma_{M2}$$

Усвојена дужина шава $l_{\xi} = 50 \text{ mm}$

- За везу везног лима и папуче усвојено 2М20 ③

- Веза вертикале спрега са челичном папучом $V_1 = 60,63 \text{ kN}$

За везу усвојени завртњеви М24 двосечни

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \end{array} \right.$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k,$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 430$$

$$f_{h,2,k} = 26,80 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_a}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} \text{ Nmm}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot 24^{2,6} = 697945,8 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{697945,8}{1,1} = 634496,2 \text{ Nmm}$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot 15,72 \text{ N/mm}^2 \cdot 120 \text{ mm} \cdot 24 \text{ mm} \\ 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 634496,2 \text{ Nmm} \cdot 26,80 \text{ N/mm}^2 \cdot 24 \text{ mm}} \end{array} \right.$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 22\,636,8 \text{ N} = 22,63 \text{ kN} \\ 42\,854 \text{ N} = 42,85 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$n = \frac{V_1}{R_d} = \frac{60,63}{30,87} = 1,96 \Rightarrow \text{усвојено 2М24 } \textcircled{4}$$

- Веза челичне папуче за главни носач:

– За пријем компоненте силе D и силу R_y усвојени су завртњеве M24

$$R = D \cdot \cos\alpha + R_s$$

$$R = 68,44 \cdot \cos 41,63^\circ + 1,02 = 52,17 \text{ kN}$$

$$n = \frac{R_z}{R_d} = \frac{52,17}{22,63} = 2,305 \Rightarrow \text{усвојено 6 M24 } \textcircled{5}$$

- За силу R_A прорачун доње и горње лежишне плоче у своме као и за везу ван спрега.
Дебљина горње и доње лежишне плоче 8 mm.

5. Прорачун стуба

6. Прорачун стуба

А) Гранично стање носивости

6.1 Анализа оптерећења

6.1.1 Стална дејства

- Оптерећење са главног носача

$$R_A = R_B = 121,986 \text{ kN}$$

- сопствена тежина стуба 20/40 см

$$g = b \cdot d \cdot \gamma_d = 0,20 \cdot 0,40 \cdot 4,2 = 0,336 \text{ kN/m'}$$

6.1.2 Променљива дејства

- снег

- Оптерећење са главног носача

$$R_A = R_B = 41,47 \text{ kN}$$

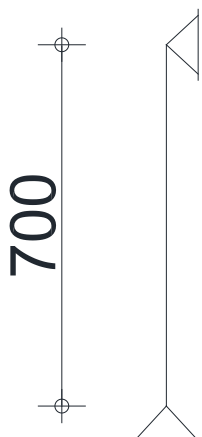
- ветар

- ударни притисак ветра

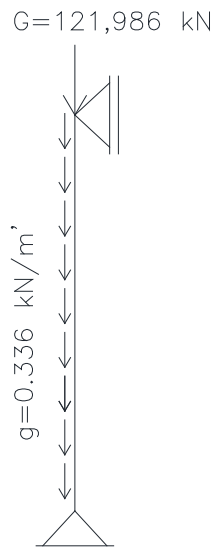
$$q_p = 0,362 \text{ kN/m}^2$$

$$W = q_p \cdot C_{pe,10} \cdot B = 0,362 \cdot 1,2 \cdot 4,8 = 2,085 \text{ kN/m'}$$

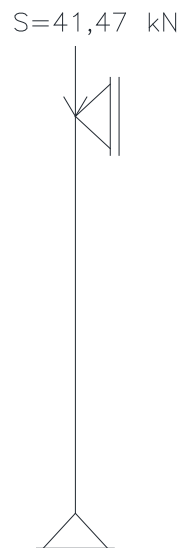
6.2 Статички систем стуба и шеме оптерећења



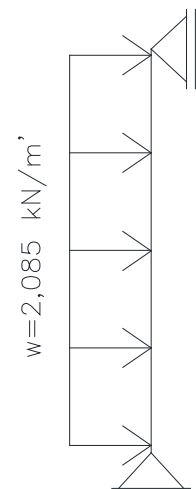
- стално дејство



- дејство снега



- дејство ветра



6.3 Геометријске карактеристике попречног пресека стуба

Геометријске карактеристике попречног пресека стуба $b/h = 20/40$ cm

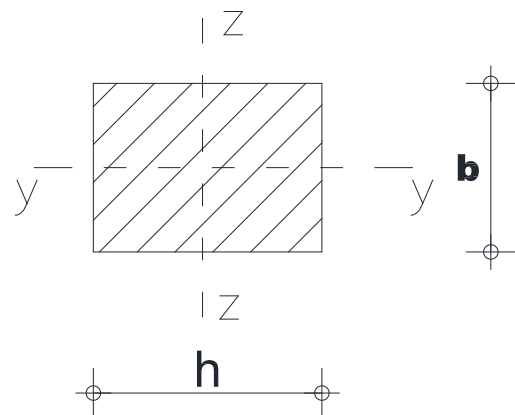
$$A = 20 \cdot 40 = 800 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{40 \cdot 20^2}{6} = 2666,67 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{40 \cdot 20^3}{12} = 26666,67 \text{ cm}^4$$

$$W_z = \frac{20 \cdot 40^2}{6} = 5333,33 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{20 \cdot 40^3}{12} = 106666,67 \text{ cm}^4$$



6.5 Парцијални коефицијенти и комбинације дејства

Парцијални коефицијенти за сигурност за дејства

стална дејства – неповољан утицај $\gamma_G = 1,35$;

променљива дејства – неповољан утицај $\gamma_Q = 1,50$

Парцијални коефицијент сигурности за материјале – дрво и материјали на бази дрвета
 $\gamma_m = 1,3$

Корекциони фактор k_{mod} за дрво I експлоатационе класе

$k_{mod} = 0,60$ (за стално дејство - G)

$k_{mod} = 0,80$ (за средњетрајно дејство - Q)

→ $k_{mod} = 0,80$

У општем случају комбинација сталних и променљивих дејстава:

$$S_d = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$ – карактеристична вредност сталног деловања

$Q_{k,1}$ – карактеристична вредност првог променљивог деловања у комбинацији

$Q_{k,i}$ – карактеристична вредност осталих променљивих деловања у комбинацији

$\gamma_{G,j}$ – парцијални коефицијент сигурности за стална деловања

$\gamma_{Q,i}$ – парцијални коефицијент сигурности за променљива деловања

$\Psi_{Q,i}$ – коефицијент комбинације деловања дефинисан Еврокодом 5

$\Psi_0 = 0,7$ за снег

$\Psi_0 = 0,6$ за ветар

Могуће комбинације дејства

1. Стално дејство + снег

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,35 \cdot Q_{k,1}, \quad Q_{k,1} = Q_{k,s}$$

2. Стално дејство + ветар

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,35 \cdot Q_{k,1}, \quad Q_{k,1} = Q_{k,w}$$

3. Стално дејство + снег + ветар

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,50 \cdot Q_{k,1} + 1,50 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,i} \quad Q_{k,1} = Q_{k,s}; Q_{k,i} = Q_{k,w}$$

4. Стално дејство + ветар + снег

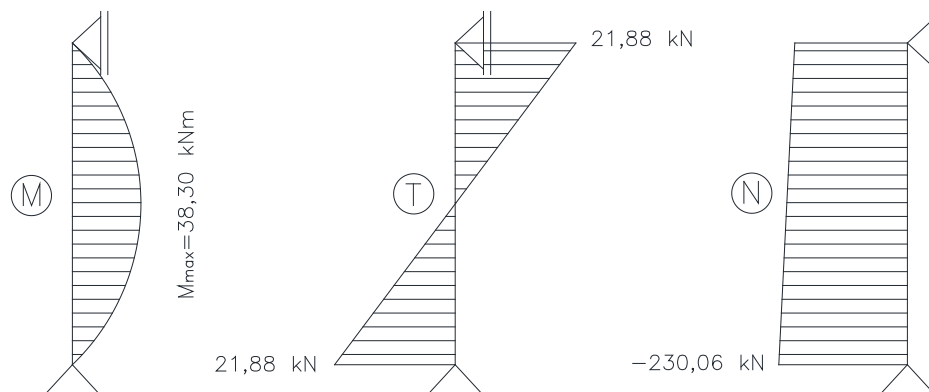
$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,50 \cdot Q_{k,1} + 1,50 \cdot 0,7 \cdot Q_{k,i} \quad Q_{k,1} = Q_{k,w}; Q_{k,i} = Q_{k,s}$$

5. Поједностављено правило и комбинација стално + снег + ветар

$$S_d = 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,35 \cdot Q_{k,1} + 1,35 \cdot Q_{k,i}$$

6.6 Статички утицаји у стубу

- Статички утицаји у стубу – силе у пресеку M, T, N силе добијене су силе су применом програма „Tower 7 - Dem“. У наставку дати су максимални утицају у стубу (анвелопа утицаја)



6.7 Контрола напона

6.7.1 Контрола напона притиска узимајући у обзир утицај извијања

Доказ носивости на притисак паралелно влакнима са савијањем узимајући у обзир утицај извијања

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} < 1$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}$$

$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2}$$

$$\lambda_y = \frac{l_i}{i_y} = \frac{700}{0,289 \cdot 40} = 60,554$$

$$\lambda_z = \frac{l_i}{i_z} = \frac{700}{0,289 \cdot 20} = 121,107$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot 11 \cdot 100}{60,554^2} = 29,85 \text{ N/mm}^2 - \text{Kritičan napon savijanja oko y-ose}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot 11 \cdot 100}{121,107^2} = 7,46 \text{ N/mm}^2 \text{ Kritičan napon savijanja oko z-ose}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{17,85}{29,85}} = 0,773 - \text{relativna vitkost koja odgovara savijanju oko y-ose}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{17,85}{7,46}} = 1,547 \text{ relativna vitkost koja odgovara savijanju oko z-ose}$$

$$k_{crit} = 1 \quad \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

$k_{crit,y}$ = koeficijent bočnog izvijanja

$$k_{crit,z} = \frac{1}{1,546^2} = 0,418$$

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

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

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,773 - 0,5)) + 0,773^2 = 0,812$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,546 - 0,5)) + 1,546^2 = 1,747$$

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

$$k_{c,y} = \frac{1}{0,812 + \sqrt{0,812^2 - 0,773^2}} = 0,943$$

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{1,747 + \sqrt{1,747^2 - 1,546^2}} = 0,415$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{R_A}{A} = \frac{230\,060}{200 \cdot 400} = 2,875 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{38,30 \cdot 10^5}{5\,333\,333,33} = 0,718 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{2,875}{0,943 \cdot 17,85} + \frac{0,718}{0,415 \cdot 19,69} < 1$$

$$\frac{2,875}{0,415 \cdot 17,85} + \frac{0,718}{0,415 \cdot 19,69} = 0,259 < 1$$

β_c – **koeficijent geometrijske imperfekcije**

$$\beta_c \begin{cases} 0,2 & \text{– za monolitno drvo} \\ 0,1 & \text{– za lepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

k_y i k_z – **koeficijenti nestabilnosti**

$k_{c,y}$ i $k_{c,z}$ – **koeficijenti nestabilnosti**

Одговарајуће чврстоће на савијање:

$$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = \frac{32 \cdot 0,80}{1,30} = 19,69 \text{ MN/m}^2$$

7. Прорачун ослонаца

7.1 Прорачун непокретног ослонца

Механичка својства материјала конструкције

Дрвене греде: лепљено ламинирано дрво (LLD) класе GL 32(h), према евронорми EN 338:

Експлатациона класа 1: $k_{mod} = 0.8$ (дуготрајно оптерћење)

Челични елементи конструкција су од челика класе Fe360 у складу са стандардима EN10080.

– граница развлачења челика Fe 360 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

– граница кидања челика Fe 360 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

– парцијални фактор сигурности за челични материја $\gamma_M = 1,1$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 360}{1,1} = 261,82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 2,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Димензије лежишне плоче $b \times L = 20 \times 25 \text{ cm}$

$$R_A = 121,986 \text{ kN}$$

- Контрола напона

$$\sigma_{c,90} = \frac{R_A}{b \cdot L} = \frac{121,986 \cdot 10^3}{200 \cdot 250} = 2,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{c,90,d} = 2,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

усвојена дебљина лежишне плоче $\delta = 15 \text{ mm}$

7.2 Прорачун покретног ослонца

$$R_B = 121,986 \text{ kN}$$

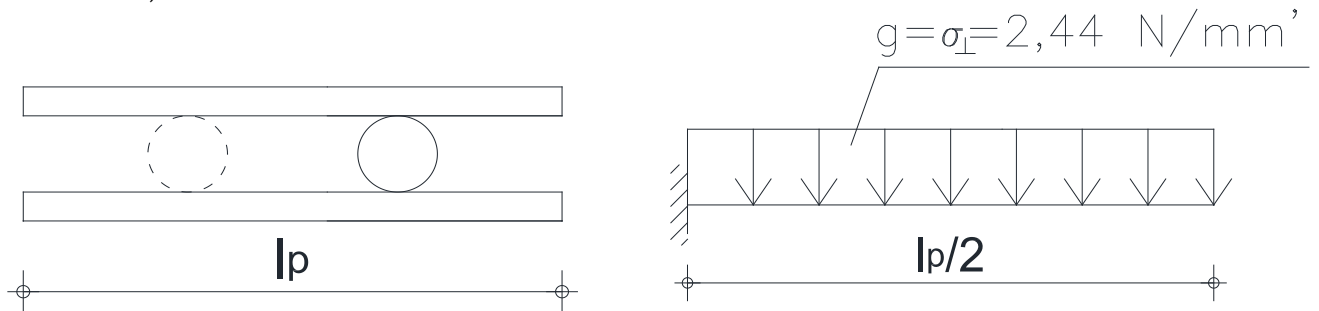
Лежиште треба тако конструисати рако да омогући хоризонтално померање од 4 cm

$$R_B = 121,986 \text{ kN}$$

- Потребна дужина лежишта

$$\sigma_{c,90} = \frac{R_B}{b \cdot L} < f_{c,90,d} = 2,7 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow L = \frac{R_B}{b \cdot f_{c,90,d}}$$

$$L_{potr} = \frac{121986}{200 \cdot 2,7} = 225,9 \text{ mm} \Rightarrow \text{усвојено } L = 25 \text{ cm}$$



- Горња лежишна плоча

$$\sigma_{c,90,d,stv} = \frac{121986}{200 \cdot 250} = 2,44 \frac{N}{mm^2}$$

- Дебљина доње лежишне плоче

$$M_1 = 0,5 \cdot q \cdot l^2 \cdot b = 0,5 \cdot 2,44 \cdot 8,5^2 \cdot 20 = 1\,762,95 \frac{Nmm}{mm^2}$$

$$W_{potr} = \frac{M_1}{f_u} = \frac{1\,762,95}{261,82} = 6,73 \text{ mm}^3$$

$$W_{potr} = \frac{1 \cdot \delta^2}{6} \Rightarrow \delta = \sqrt{6 \cdot 6,73} = 6,36 \text{ mm}$$

Усвојено $\delta = 20 \text{ mm}$

Горња лежична плоча

Усвојено $\delta = 20 \text{ mm}$

- Ослонац се изводи као линијски са заобљењем горње належуће равни

