

STATIČKI PRORAČUN ZOLLINGER KROVIŠTA

Autor: Ivan Volarić, struč. spec. ing. aedif.

Zagreb, Siječanj 2017.



TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE

OPIS PROJEKTOG ZADATAKA

Projektni zadatak prema kojem je izrađen projekt sadrži nekoliko bitnih dijelova. Izabran materijal je masivno drvo, maksimalna visina krovišta iznosi 5 metara, raspon 10 metara, a lokacija za koju je projekt predviđen je Zagreb (Hrvatska). Kod projektiranja krovišta stambeni prostor potkrovlja mora biti slobodan od nosivih elemenata.

DIMENZIJE OBJEKTA

Tlocrtna dimenzija objekta su 10.00 metara X 12.20 metara. Visina krovne konstrukcije je 4.31 metar.

POKROV

Projektirani pokrov objekta je crijep tipa Biber.

GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

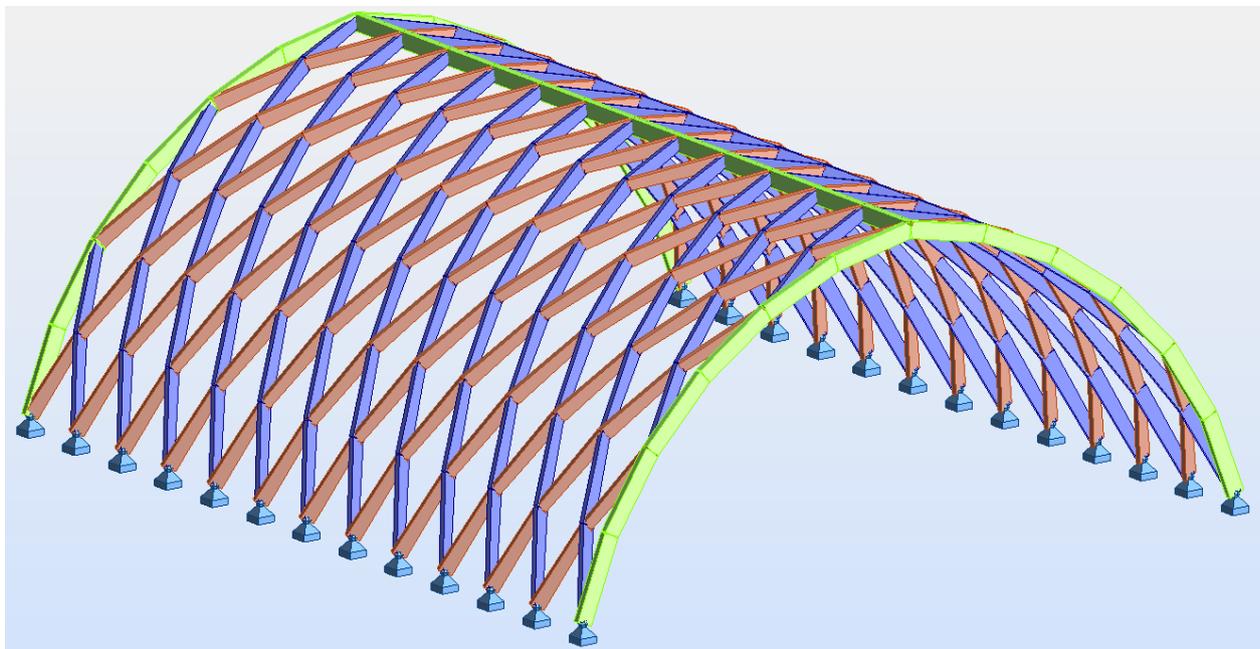
Glavnu nosivu konstrukciju tvore tzv. Zollinger lamele dužine 2.60 metara, poprečni presjek je promjenjive visine te se mijenja sa 15cm X 6cm na 20cm X 6cm. Drvo koje se ugrađuje mora biti klase C24, na krajevima lamela je potrebno napraviti skošenje kako bi se osigurao ravnomjeran prijenos sila, te konstrukcija željene geometrije. Lamela je u čvorovima potrebno osigurati jednim vijkom K.V. 8.8. promjera 12 milimetara.

ZAŠTITA KONSTRUKCIJE

Drvene elemente konstrukcije potrebno je prije montaže zaštititi od nametnika te utjecaja vlage. Drvo je materijala kod kojeg se nosivost smanjuje povećanjem vlažnosti, te elemente ne smijemo prije montaže položiti izravno na zemlju, beton, ili ih ostaviti nezaštićene na kiši. Prije montaže drvene elemente je potrebno premazati impregnacijom tipa Belinka Belles kako bi se zaštili od nametnika, nakon toga napraviti dva premaza tankoslojnom lazurnom tipa Belinka Belton, te na kraju jedan finalni premaz debeloslojnom lazurnom tipa Belinka Beltop. Moguće je koristiti i premaze drugih proizvođača koji imaju jednakovrijedna svojstva. Spajala moraju biti vruće pocinčana, te nisu potrebni naknadni premazi.



STATIČKI PRORAČUN ZOLLINGER KROVIŠTA



Slika 1 Prikaz statičkog modela Zollinger krovišta

Analiza opterećenja

Stalno opterećenje

Crijep biber		0.90 kN/m ²
Letva 3/5	[0.03 × 0.05 × 5 /0.15]	0.05 kN/m ²
Kontra letva 3/5	[0.03 × 0.05 × 5 /0.80]	0.01 kN/m ²
Folija		0.01 kN/m ²
Daščana oplata 2.4 cm	[0.024 × 5]	0.12 kN/m ²
Termoizolacija		0.05 kN/m ²
Instalacije		0.10 kN/m ²
		Σ 1.24 kN/m²

Promjenjivo opterećenje

Snijeg

Lokacija objekta Zagreb 158 metara nad morem

Formula za izračun:

$$s = \mu_i \times c_e \times c_t \times s_k$$

s_k = karakteristična vrijednost opterećenja snijega na tlo prema karti III zona

$$s_k = 1.25 \text{ kN/m}^2$$

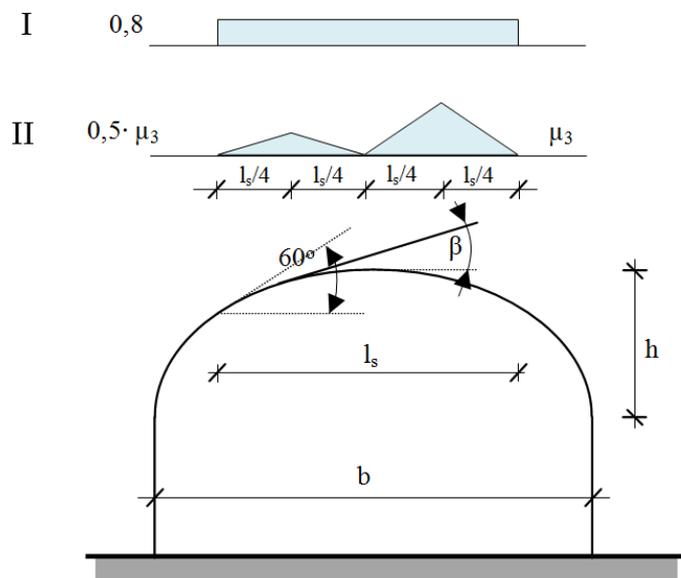
c_e = koeficijent izloženosti

$$c_e = 1$$

c_t = koeficijent topline

$$c_t = 1$$

μ_i = koeficijent oblika za cilindrične krovove

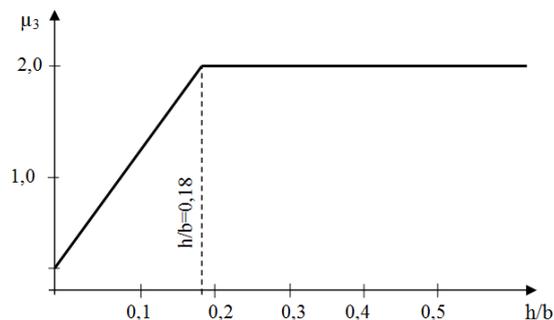


Slika 2 Parametri za određivanje koeficijenta oblika kod cilindričnih krovova

$\mu_{i1} = 0.8$ (koeficijent oblika za varijantu I)



Koeficijent oblika za varijantu II određuje se pomoću dijagrama:



Dijagram 1 Ovisnost koeficijenta oblika kod cilindričnih krovova o odnosu h/b

h = visina objekta

$h=4.31$ m

b = raspon luka

$b=10.00$ m

Odnos h/b za očitavanje dijagrama

$$\frac{h}{b}=0.43$$

$\mu_{III}=2.0$ (koeficijent oblika za varijantu II)

Djelovanje snijega po m^2 tlocrtno:

$$s_I=0.80 \times 1 \times 1 \times 1.25=1.00 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{II, \text{lijevo}}=1.00 \times 1 \times 1 \times 1.25=1.25 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{II, \text{desno}}=2.00 \times 1 \times 1 \times 1.25=2.50 \text{ kN/m}^2$$

Vjetar

Vanjski tlak

Formula za izračun pritiska vjetra na vanjsku oblogu konstrukcije:

$$w_e=q_p \times c_e(z) \times c_{pe}$$



q_p =vršni tlak srednje brzine vjetra

$v_{b,0}$ =osnovna brzina vjetra (očitano iz karte)

$v_{b,0}=20$ m/s

ρ =gustoća zraka

$\rho=1.25$ kN/m²

$$q_p = \frac{\rho}{2} \times v_{b,0}^2 = \frac{1.25}{2 \times 1000} \times 20^2 = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

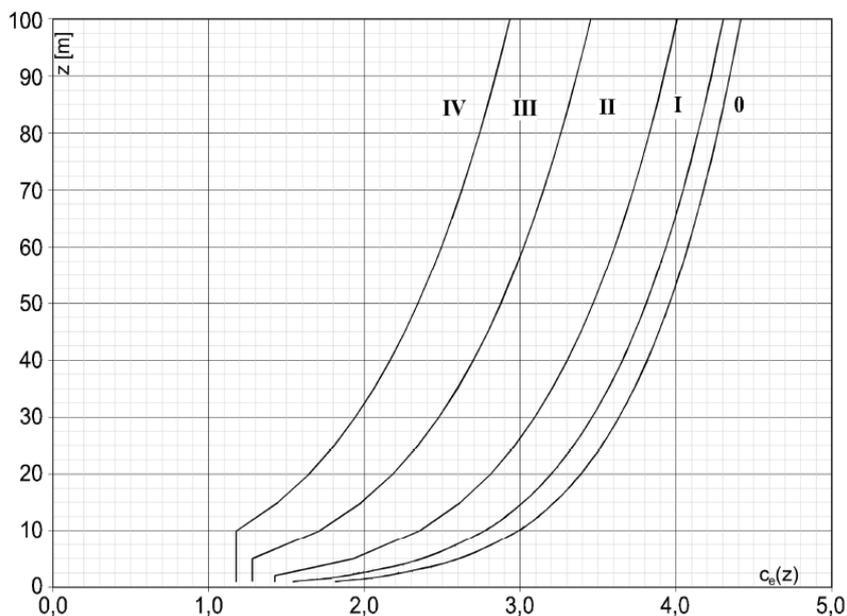
$c_e(z)$ =koeficijent izloženosti

II kategorija zemljišta

z =visina objekta

$z=8.00$ m

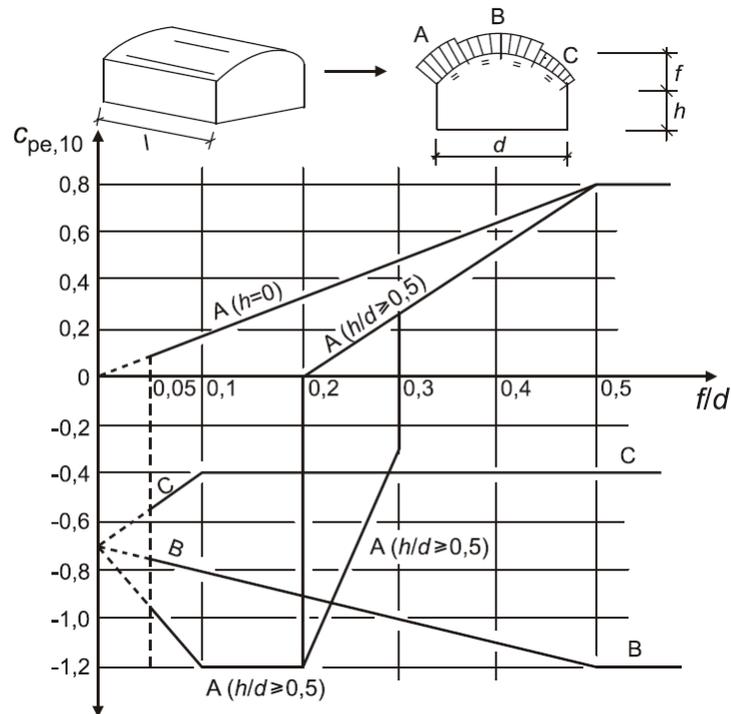
Koeficijent izloženosti određuje se pomoću dijagrama:



Dijagram 2 Ovisnost koeficijenta izloženosti o visini objekta te vrsti terena

$c_e(z)=2.20$ (očitano iz dijagrama)

Koeficijent vanjskog tlak na krovnu površinu



Dijagram 3 Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za valjkaste krovove

f=visina luka (krov)

f=4.31 m

d=raspon luka (krov)

d=10.00 m

h=visina zida (krov)

h=3.69 m

Odnos h/d za očitavanje dijagrama

$$\frac{h}{d}=0.37$$

Odnos f/d za očitavanje dijagrama

$$\frac{f}{d}=0.43$$



Očitane vrijednosti c_{pe} :

Područje A= 0.50 (krov)

Područje B= -1.10 (krov)

Područje C= -0.40 (krov)

Pritisak vjetra na krovne površine

Područje	q_p (kN/m ²)	$c_e(z)$	C_{pe}	$w_e = q_p \times c_e(z) \times c_{pe}$ (kN/m ²)
A	0.25	2.20	0.50	0.28
B	0.25	2.20	-1.10	-0.61
C	0.25	2.20	-0.40	-0.22

Unutarnji pritisak

Formula za izračun pritiska vjetra na unutarnju oblogu konstrukcije:

$$w_i = q_p \times c_e(z) \times c_{pi}$$

q_p = vršni tlak srednje brzine vjetra

$v_{b,0}$ = osnovna brzina vjetra (očitano iz karte)

$v_{b,0} = 20$ m/s

ρ = gustoća zraka

$\rho = 1.25$ kN/m²

$$q_p = \frac{\rho}{2} \times v_{b,0}^2 = \frac{1.25}{2 \times 1000} \times 20^2 = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$c_e(z)$ = koeficijent izloženosti - II kategorija zemljišta

z = visina objekta

$z = 8.00$ m



$c_e(z)=2.2$ (očitano iz dijagrama 2)

c_{pi} =koeficijent unutarnjeg tlaka

$c_{pi1}= 0.35$

$c_{pi2}= -0.50$

Iznosi koeficijenta unutarnjeg tlaka (c_{pi}) odabrani najnepovoljniji kako bi bili na strani sigurnosti.

Pritisak vjetra na unutarnje površine

q_p (kN/m ²)	$c_e(z)$	c_{pi}	$w_e=q_p \times c_e(z) \times c_{pi}$ (kN/m ²)
0.25	2.20	0.35	0.19
0.25	2.20	-0.50	-0.28

Napomena: Analiza utjecaja vjetra na zabatne zidove nije uzeta u obzir, jer se ulazi sa pretpostavkom da su isti izvedeni od armiranog betona te nemaju utjecaja na krovnu konstrukciju.

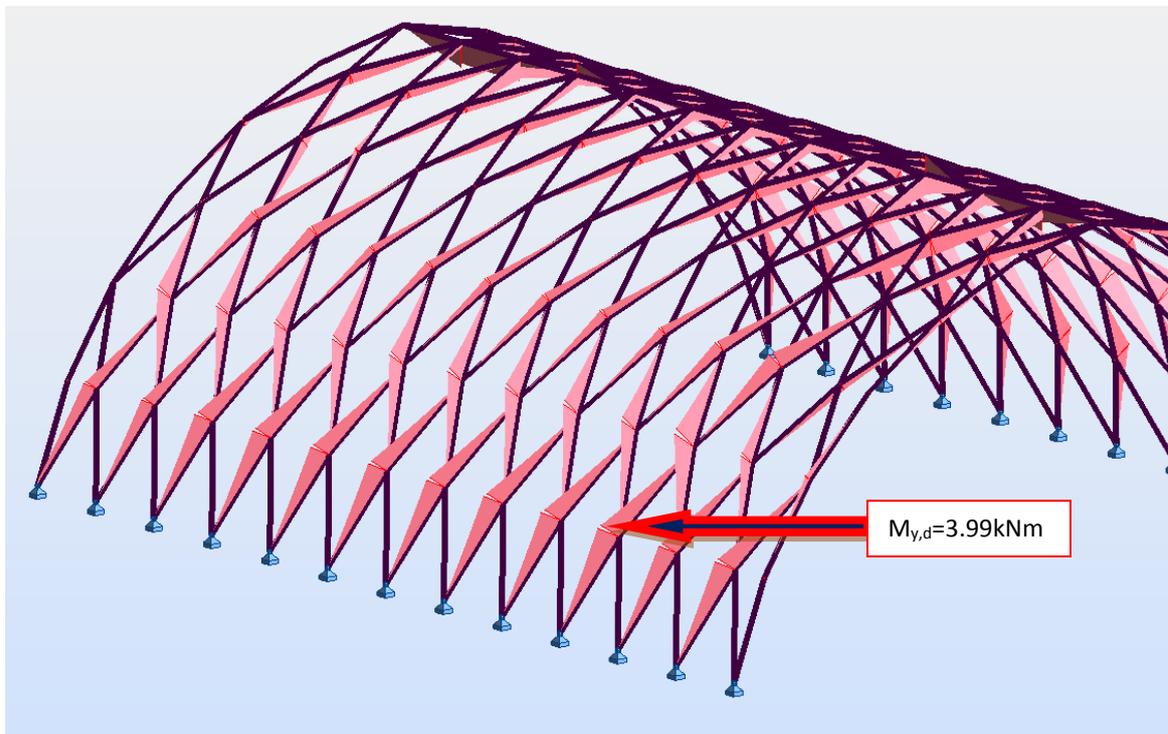
Odabir najnepovoljnijih kombinacija za dimenzioniranje.

Analizom djelovanja unutar statičkog modela dolazi se do zaključka da su najnepovoljnije kombinacije djelovanje: LC 7 (Stalno+Snijeg 1) u kojoj se unutar lamele 296 javlja interakcija momenta savijanja $M_{y,d}=3,99$ kNm i uzdužne tlačne sile $N_d=16,02$ kN i LC 8 (Stalno+Snijeg 2) u kojoj se unutar lamele 152 javlja interakcija momenta savijanja $M_{y,d}=5,43$ kNm i uzdužne tlačne sile $N_d=4,14$ kN.

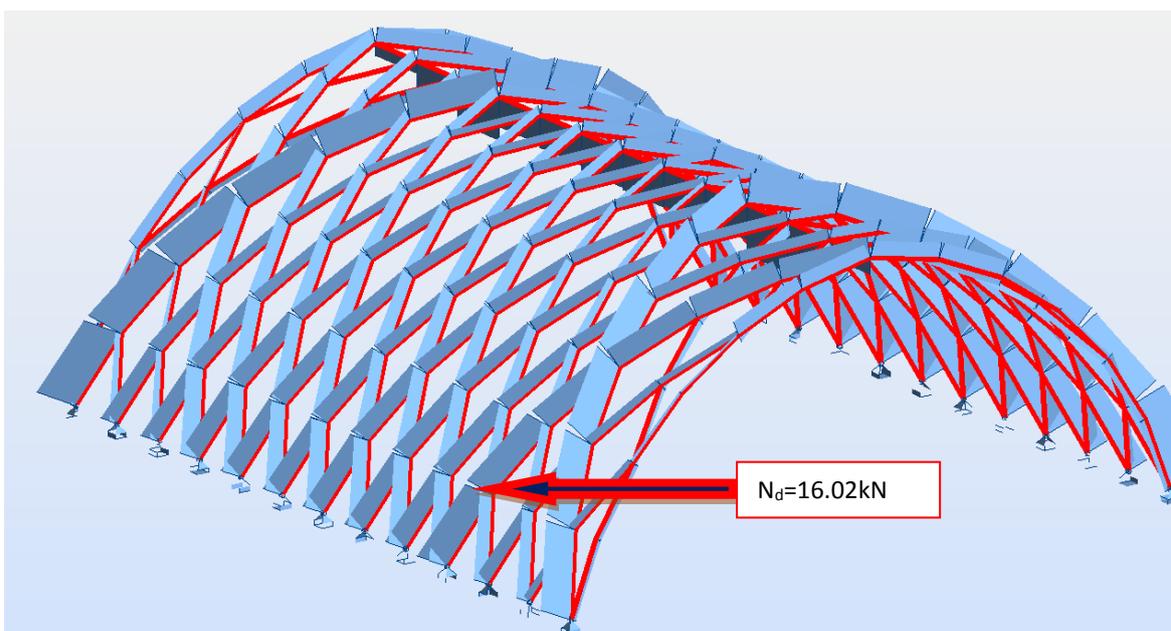
S obzirom na navedeno pristupilo se dimenzioniranju. Lamela sa kojom se ulazi u proračun je trapeznog oblika na krajevima je dimenzija poprečnog presjeka 15cm X 6cm dok se prema sredini lamele poprečni presjek mijenja na maksimalnu dimenziju poprečnog presjeka 20cm X 6cm. Naprezanja koja se navode kao najnepovoljnija djeluju na mjestu gdje je dimenzija poprečnog presjeka 20cm X 6cm.

Dimenzioniranje

LC 7 (Stalno + Snijeg 1)



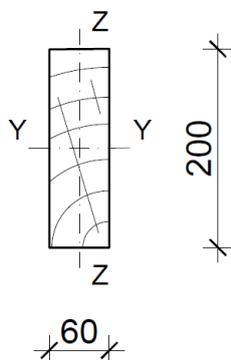
Slika 3 $M_{y,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg 1



Slika 4 N_d za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg 1



Dimenzije poprečnog presjeka 60 mm x 200 mm



$$A=60 \times 200=12000 \text{ mm}^2$$

$$W_Y=\frac{60 \times 200^2}{6}=400000 \text{ mm}^2$$

$$W_Z=\frac{200 \times 60^2}{6}=120000 \text{ mm}^2$$

Duljina izvijanja Y

$$l_{ef,y}=2600 \text{ mm}$$

Duljina izvijanja Z

$$l_{ef,z}=1300 \text{ mm}$$

Srednji modul posmika za drvo C24

$$G_{\text{mean}}=690 \text{ N/mm}^2$$

Srednji modul elastičnosti za drvo C24

$$E_{0,\text{mean}}=11000 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristični modul elastičnosti za drvo C24

$$E_{0,05}=7400 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična čvrstoća na savijanje za drvo C24

$$f_{m,k}=24 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična čvrstoća na tlak paralelno sa vlakancima za drvo C24

$$f_{c,0,k}=21 \text{ N/mm}^2$$



Koeficijent sigurnosti za materijal

$$\gamma_m = 1.3$$

Koeficijent kodifikacije za 1 klasu srednje trajno djelovanje

$$k_{mod} = 0.80$$

Izrazi kod djelovanja savijanja sa bočnim izvijanjem i tlakom paralelno sa vlakancima:

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

Savijanje Y + bočno izvijanje

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \times b^2 \times E_{0,05}}{I_{efy} \times h} \times \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = 40.29 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = 0.77$$

$$0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.40 \rightarrow k_{crit,y} = 0.98$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 14.77 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 9.97 \text{ N/mm}^2$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 1.34 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_{min}} = 74.91$$



$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 13.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1.27$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_z = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1.38$$

$$\frac{1}{k_{c,z}} = k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} = 1.92$$

$$k_{c,z} = 0.52$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 1.34 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{Y_m} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_{min}} = 44.95$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 36.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0.76$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_y = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0.82$$

$$\frac{1}{k_{c,y}} = k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} = 1.13$$

$$k_{c,y} = 0.89$$



Dokaz nosivosti

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{1.34}{0.89 \times 12.92} \right) + \left(\frac{9.97}{0.98 \times 14.77} \right) \leq 1$$
$$0.81 \leq 1$$

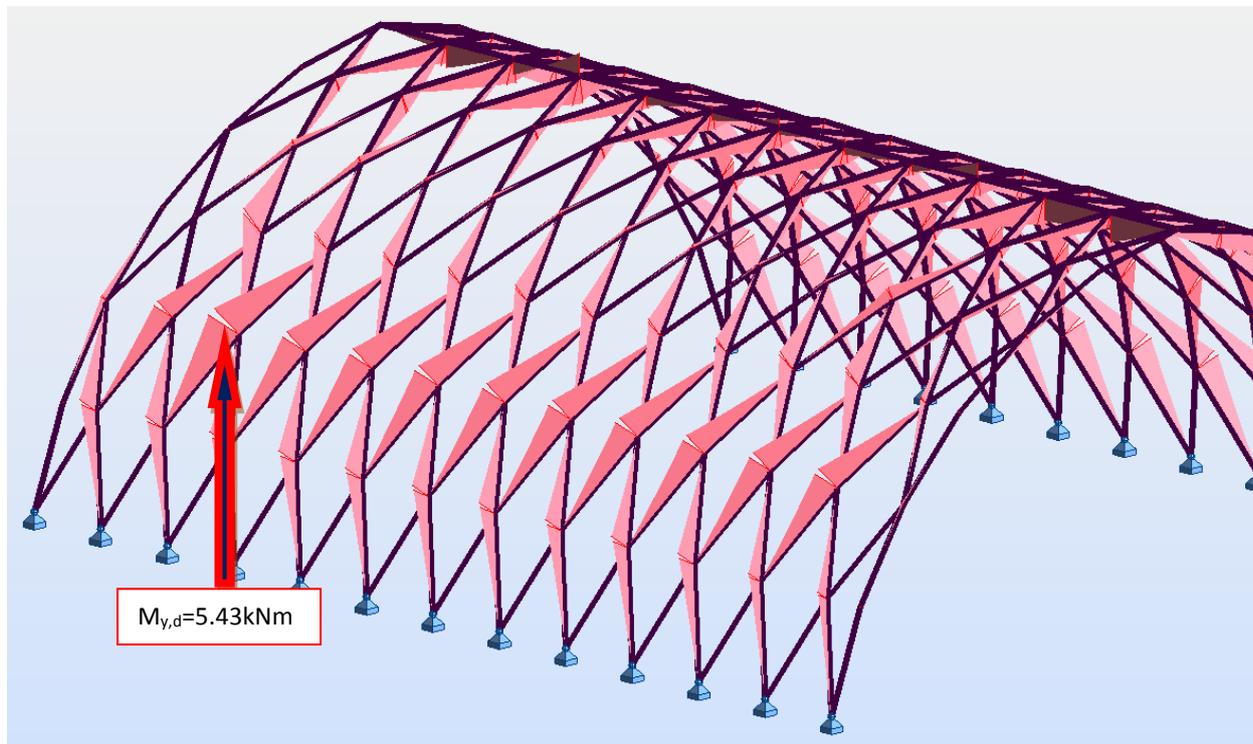
Koeficijent pravokutnog poprečnog presjeka

$K_m = 0.7$

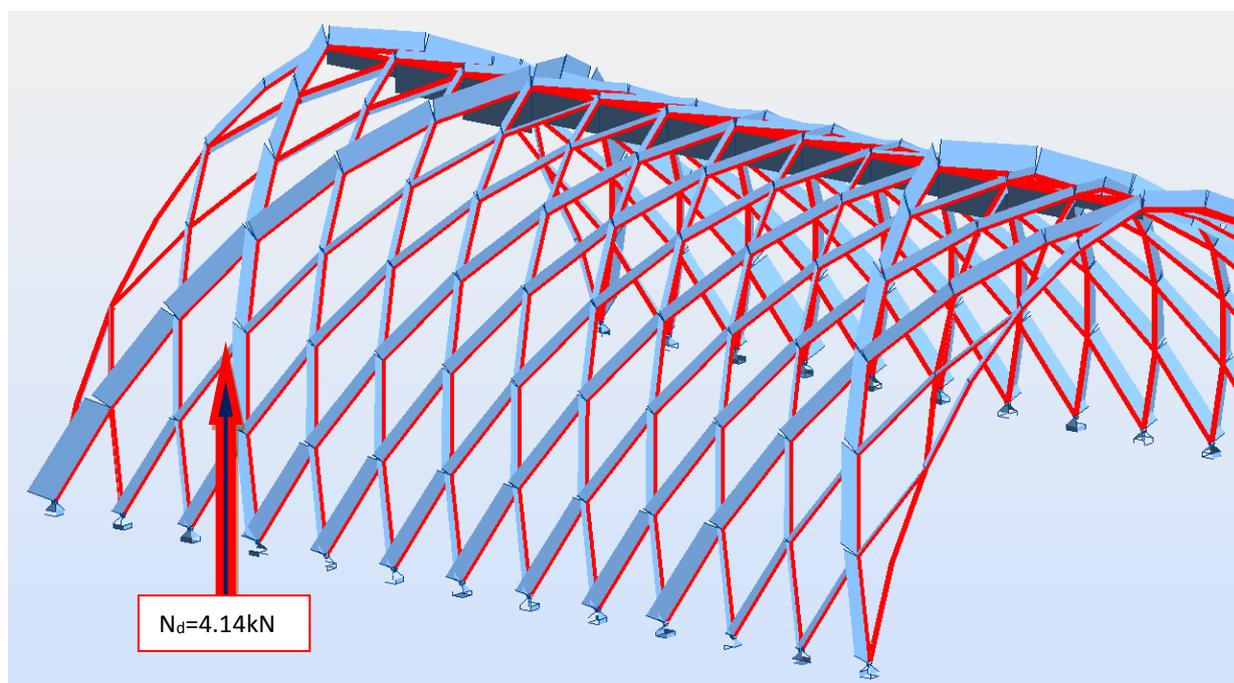
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{1.34}{0.52 \times 12.92} \right) + \left(0.7 \times \frac{9.97}{0.98 \times 14.77} \right) \leq 1$$
$$0.68 \leq 1$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 81 %

LC 8 (Stalno + Snijeg 2)



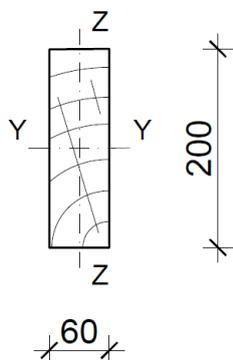
Slika 5 $M_{y,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg 2



Slika 6 N_d za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg 2



Dimenzije poprečnog presjeka 60 mm x 200 mm



$$A=60 \times 200=12000 \text{ mm}^2$$

$$W_Y=\frac{60 \times 200^2}{6}=400000 \text{ mm}^2$$

$$W_Z=\frac{200 \times 60^2}{6}=120000 \text{ mm}^2$$

Duljina izvijanja Y

$$l_{ef,y}=2600 \text{ mm}$$

Duljina izvijanja Z

$$l_{ef,z}=1300 \text{ mm}$$

Srednji modul posmika za drvo C24

$$G_{mean}=690 \text{ N/mm}^2$$

Srednji modul elastičnosti za drvo C24

$$E_{0,mean}=11000 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristični modul elastičnosti za drvo C24

$$E_{0,05}=7400 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična čvrstoća na savijanje za drvo C24

$$f_{m,k}=24 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična čvrstoća na tlak paralelno sa vlakancima za drvo C24

$$f_{c,0,k}=21 \text{ N/mm}^2$$



Koeficijent sigurnosti za materijal

$$\gamma_m = 1.3$$

Koeficijent kodifikacije za 1 klasu srednje trajno djelovanje

$$k_{mod} = 0.80$$

Izrazi kod djelovanja savijanja sa bočnim izvijanjem i tlakom paralelno sa vlakancima:

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

Savijanje Y + bočno izvijanje

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \times b^2 \times E_{0,05}}{I_{efy} \times h} \times \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = 40.29 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = 0.77$$

$$0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.40 \rightarrow k_{crit,y} = 0.98$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 14.77 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 13.58 \text{ N/mm}^2$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_{min}} = 74.91$$



$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 13.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1.27$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_z = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1.38$$

$$\frac{1}{k_{c,z}} = k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} = 1.92$$

$$k_{c,z} = 0.52$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{Y_m} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_{min}} = 44.95$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 36.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0.76$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_y = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0.82$$

$$\frac{1}{k_{c,y}} = k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} = 1.13$$

$$k_{c,y} = 0.89$$

Dokaz nosivosti

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}}\right) + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}}\right) \leq 1$$
$$\left(\frac{0.35}{0.89 \times 12.92}\right) + \left(\frac{13.58}{0.98 \times 14.77}\right) \leq 1$$
$$0.96 \leq 1$$

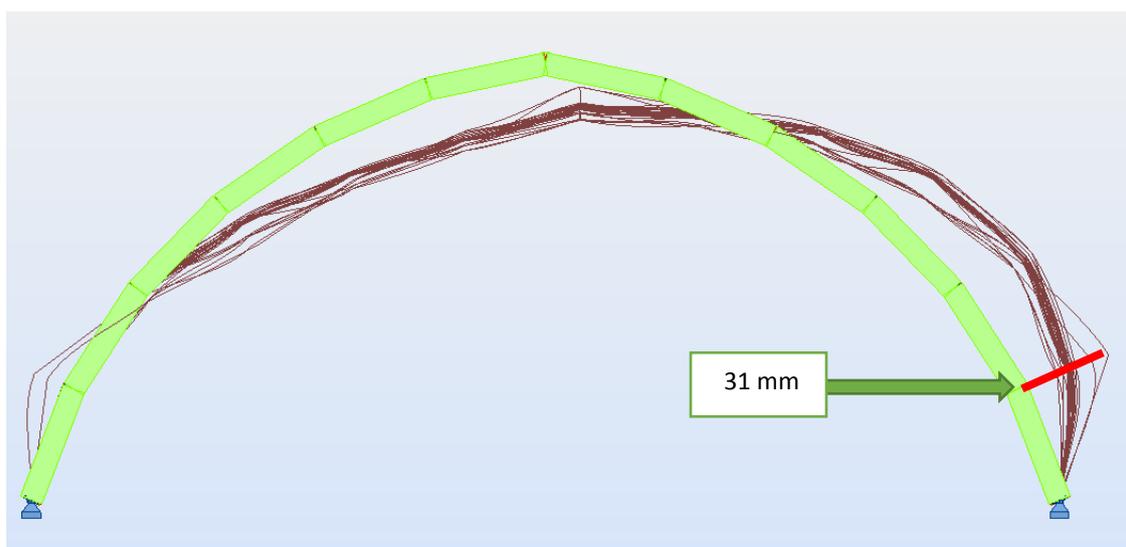
Koeficijent pravokutnog poprečnog presjeka

 $K_m = 0.7$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}}\right) + \left(k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}}\right) \leq 1$$
$$\left(\frac{0.35}{0.52 \times 12.92}\right) + \left(0.7 \times \frac{13.58}{0.98 \times 14.77}\right) \leq 1$$
$$0.71 \leq 1$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 96 %**GSU – Kontrola progiba**

Najnepovoljnija kombinacija djelovanja kod koje dolazi do najvećeg pomaka je LC 21 (Stalno + Snijeg 1 + Vjetar x-x + Unutarnji podtlak)



Slika 7 Maksimalni progib sustava-kombinacija djelovanja 21



Maksimalni konačni progib

$$u_{fin} = 31 \text{ mm}$$

Maksimalni dopušteni progib $l/200$

$$l/200 = 50 \text{ mm}$$

$$u_{fin} \leq l/200$$

$$31 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

Progib zadovoljava

Potrebna količina materijala

Za krovište iz statičkog proračuna tlocrtna površine cca. 120m^2 potrebno cca. **6.3m^3** drveta klase C24 što iznosi **0.05 m^3** drveta **po 1m^2 tlocrta**.