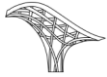


STATIČKI PRORAČUN KROVIŠTA SA DVOSTRUKOM STOLICOM

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

Zagreb, Siječanj 2017.



TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE

OPIS PROJEKTOG ZADATKA

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).

DIMENZIJE OBJEKTA

Tlocrtne dimenzije objekta su 10.00 metara X 12.20 metara. Visina krovne konstrukcije je 4.31 metar.

POKROV

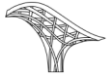
Projektirani pokrov objekta je crijep tipa Biber.

GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Glavna nosiva konstrukcija projektirana je kao sustav dvostruke stolice. Rogovi koje je potrebno ugraditi su dimenzija poprečnog presjeka 16cm x 10cm, a na podrožnice naliježu pomoću zasjeka od cca. 3cm. Podrožnice su projektirane sa dimenzijom poprečnog presjeka 12cm x 24cm, ruke 12cm x 12cm dok je kosnike potrebno ugraditi poprečnog presjeka 12cm x 18cm kako bi imali istu širinu kao i stupovi koji su također projektirani dimenzija poprečnog presjeka 12cm x 18cm. U nosivu strukturu još je potrebno ubrojiti veznu gredu koja mora biti dimenzija poprečnog presjeka 12cm x 18cm, te kliješta koja povezuju rogove, a koja moraju biti poprečnog presjeka 14cm x 10cm. Svi elementi koji tvore nosivu strukturu moraju biti od masivnog punog drveta klase C24, izuzev podrožnica koje su projektirane klase C30.

ZAŠTITA KONSTRUKCIJE

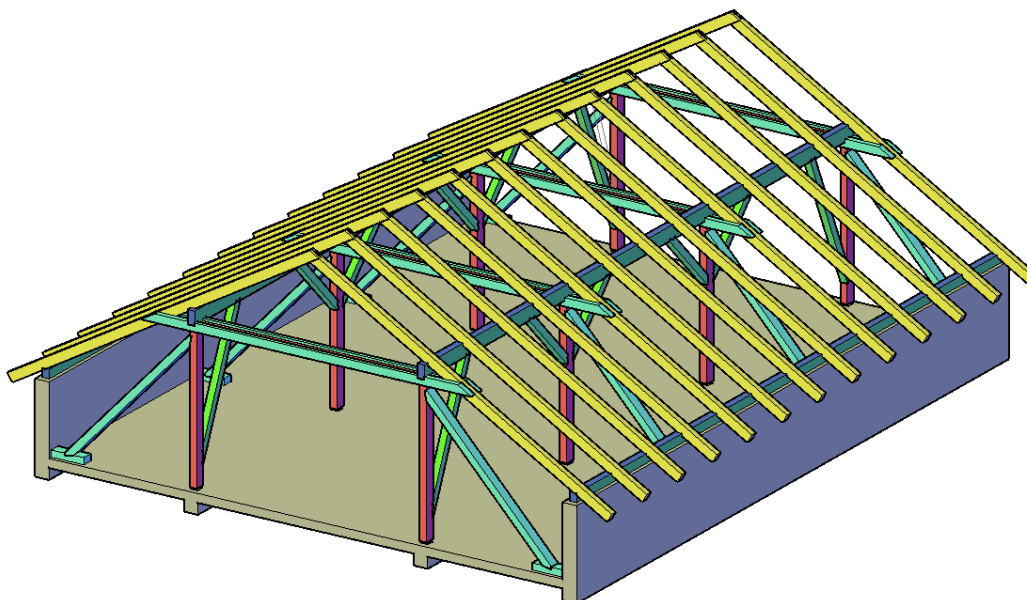
Drvene elemente konstrukcije potrebno je prije montaže zaštititi od nametnika te utjecaja vlage. Drvo je materijala kod kojeg se nosivost smanjuje povećanjem vlažnosti, te elemente ne smijemo prije montaže položiti izravno na zemlju, beton, ili ih ostaviti nezaštićene na kiši. Prije montaže drvene elemente je potrebno premazati impregnacijom tipa Belinka Belles kako bi se zaštitili od nametnika, nakon toga napraviti



dva premaza tankoslojnom lazuroom tipa Belinka Belton, te na kraju jedan finalni premaz debeloslojnom lazuroom 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 KROVIŠTA SA DVOSTRUKOM STOLICOM



Slika 1 3D model krovišta sa dvostrukom stolicom

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 /1]	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
<u>Instalacije</u>		<u>0.10 kN/m²</u>
		Σ 1.24 kN/m ²

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

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

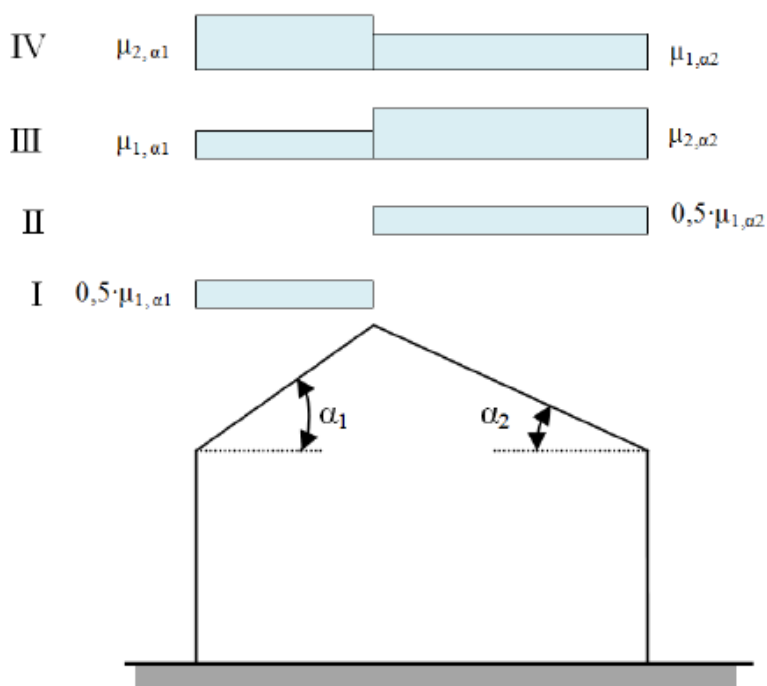
c_e =koeficijent izloženosti

$$c_e = 1$$

c_t =koeficijent topline

$$c_t = 1$$

μ_i =koeficijent oblika za dvostrešna krovovišta



Slika 2 Varijante koeficijenta oblika kod dvostrešnih krovovišta



Kut nagiba krova	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
Koeficijent oblika μ_1	0,8	0,8	$0,8 \cdot (60-\alpha)/30$	0,0
Koeficijent oblika μ_2	0,8	$0,8+0,6 \cdot (\alpha-15)/30$	$1,1 \cdot (60-\alpha)/30$	0,0
Koeficijent oblika μ_3	$0,8+0,8\alpha/30$	$0,8+0,8\alpha/30$	1,6	posebna razmatranja

Tablica 1 Koeficijenti oblika opterećenja snijegom

Nagib dvostrešnog simetričnog krovišta:

$$\alpha=30^\circ$$

Koeficijent oblika μ_1

$$\mu_1=0.8$$

Koeficijent oblika μ_2

$$\mu_2=0.8+0.6 \times (30-15)/30=1.1$$

Djelovanje snijega po m^2 tlocrtno:

$$s_I=0.5 \times 0.80 \times 1 \times 1 \times 1.25=0.50 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{II}=0.5 \times 0.80 \times 1 \times 1 \times 1.25=0.50 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{III,lijevo}=0.80 \times 1 \times 1 \times 1.25=1.00 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{III,desno}=1.10 \times 1 \times 1 \times 1.25=1.38 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{IV,lijevo}=1.10 \times 1 \times 1 \times 1.25=1.38 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{IV,desno}=0.80 \times 1 \times 1 \times 1.25=1.00 \text{ kN/m}^2$$

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

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

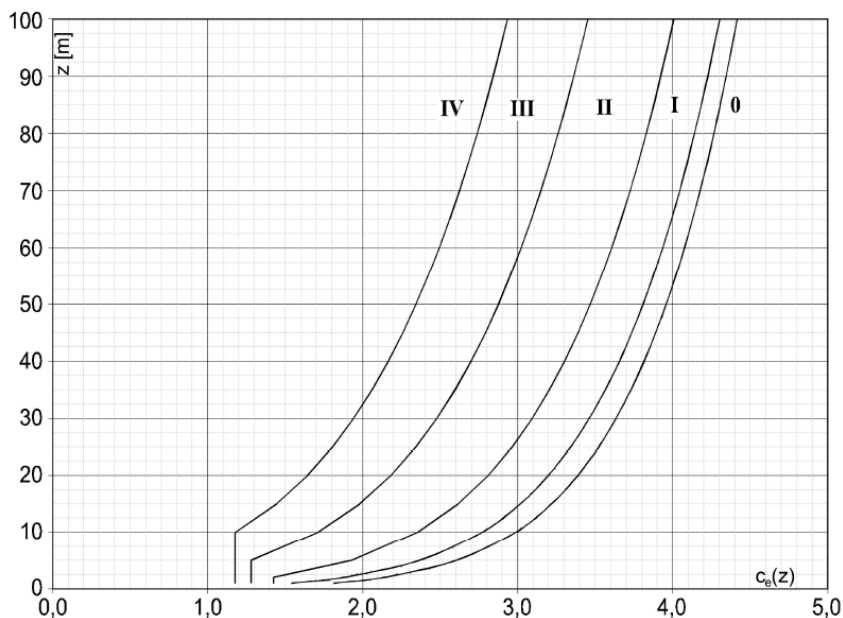
$c_e(z)$ =koeficijent izloženosti

II kategorija zemljišta

z =visina objekta

$z=8.00$ m

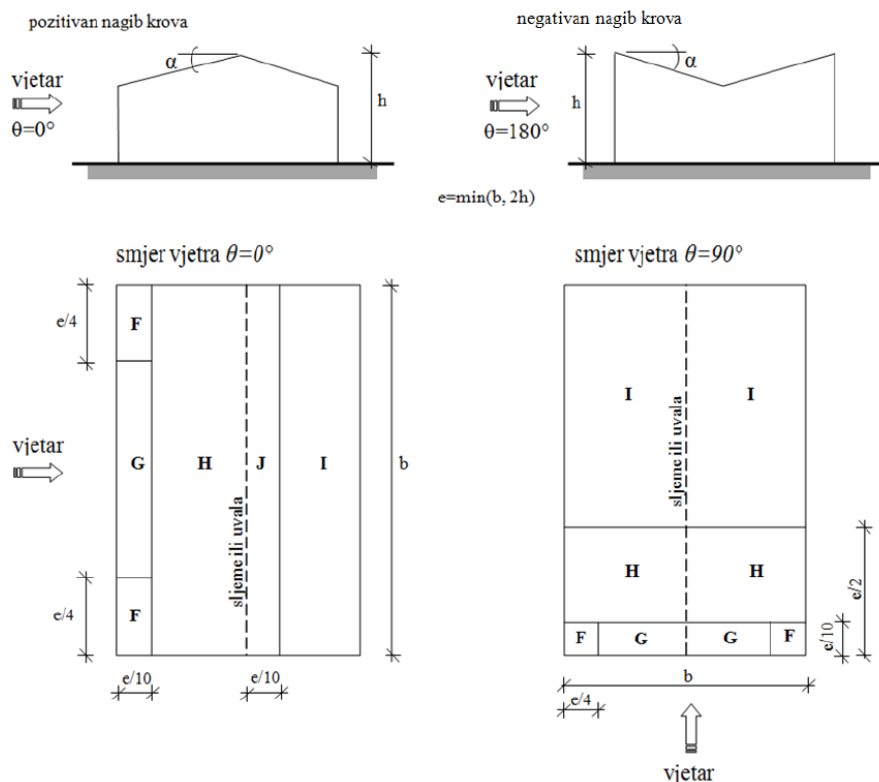
Koeficijent izloženosti određuje se pomoću dijagrama:



Dijagram 1 Ovisnost koeficijenta izloženosti o visini objekta te vrsti terena

$c_e(z)=2.20$ (očitano iz dijagrama)

Koeficijent vanjskog tlak na krovnu površinu



Slika 3 Zone kod koeficijenta vanjskog tlaka za dvostrešne krovove

Transverzalni smjer djelovanja vjetra
 $\Phi=0^\circ$

Longitudinalni smjer djelovanja vjetra
 $\Phi=90^\circ$

$$e=\min(b,2h)=\min(12.2;16)=16$$

$$e_{\min}(b,2h)=\min(12.2;16)=16$$

Krovne površine	Površina (m ²)	C _{pe}	w (kN/m ²)
F	7.40	-0.67	-0.37
G	7.73	-0.64	-0.35
H	55.75	-0.20	-0.11
I	55.75	-0.40	-0.22
J	22.45	-0.50	-0.28

Krovne površine	Površina (m ²)	C _{pe}	w (kN/m ²)
F	5.63	-1.25	-0.69
G	2.20	-1.80	-0.99
H	43.52	-0.80	-0.44
I	26.96	-0.50	-0.28



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 1)

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

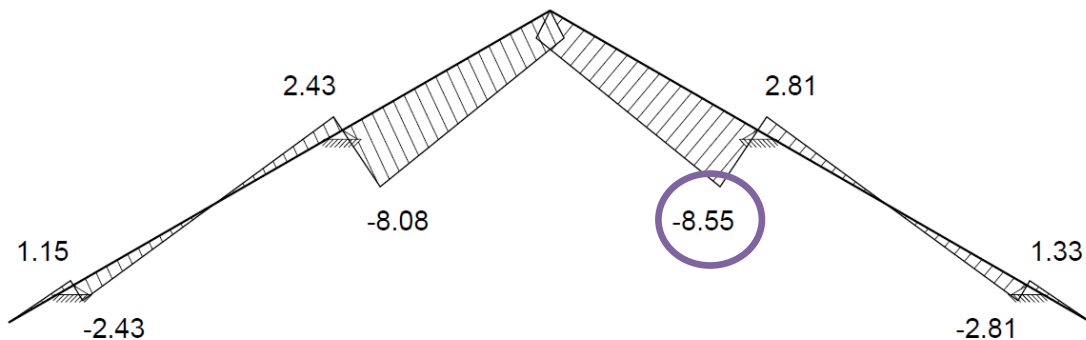
Napomena: Analiza utjecaja vjeta na vertikalne i zabatne zidove nije uzeta u obzir, jer se ulazi sa pretpostavkom da su isti izvedeni od armiranog betona te nemaju utjecaja na krovnu konstrukciju.

Odabir najnepovoljnijih kombinacija za dimenzioniranje.

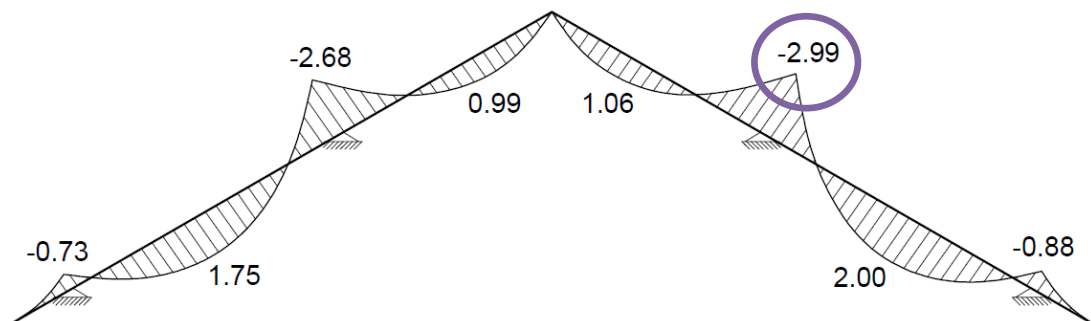
Nastavak proračuna se provodi sa tri kombinacija opterećenja za koje se pretpostavlja da će dati najnepovoljnija djelovanja unutar nosivih elemenata. Prvu kombinaciju sačinjava Stalno + Snijeg III, drugu kombinaciju sačinjava Stalno + Vjetar u longitudinalnom smjeru (zona F,G) + Unutarnji tlak, dok treću kombinaciju sačinjava Stalno + Snijeg III + Vjetra u transverzalnom smjeru (zona G,H,J,I) + Unutarnji podtlak.

Dimenzioniranje

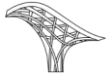
Rog



Slika 4 N_d dijagram za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetar + Unutarnji podtlak (sve u kN)

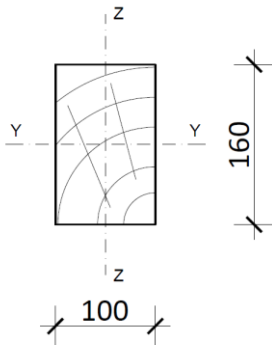


Slika 5 $M_{y,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetra + Unutarnji podtlak (sve u kNm)



Dimenzije poprečnog presjeka 100 mm x 160 mm

Napomena: U proračun se ulazi sa dimenzijom poprečnog presjeka 100 mm x 130 mm poradi zasijecanja rogova kod nalijeganja na podrožnice od cca. 3cm



$$A=100 \times 130=13000 \text{ mm}^2$$

$$W_Y=\frac{100 \times 130^2}{6}=281666 \text{ mm}^2$$

$$W_Z=\frac{130 \times 100^2}{6}=216666 \text{ mm}^2$$

Duljina izvijanja Y

$$l_{ef,y}=2450 \text{ mm}$$

Duljina izvijanja Z

$$l_{ef,z}=2450 \text{ mm}$$

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

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \times b^2 \times E_{0,05}}{I_{efy} \times h} \times \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = 182.71 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = 0.36$$

$$0.75 \leq \lambda_{rel,m} \rightarrow k_{crit,y} = 1.00$$

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

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 10.61 \text{ N/mm}^2$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 0.66 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_{min}} = 84.71$$



$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 10.17 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1.44$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_z = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1.63$$

$$\frac{1}{k_{c,z}} = k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} = 2.39$$

$$k_{c,z} = 0.42$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 0.66 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_{min}} = 65.17$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 17.18 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1.12$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_y = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1.19$$

$$\frac{1}{k_{c,y}} = k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} = 1.59$$

$$k_{c,y} = 0.63$$



Dokaz nosivosti

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{0.66}{0.63 \times 12.92} \right) + \left(\frac{10.61}{1.00 \times 14.77} \right) \leq 1$$
$$0.79 \leq 1$$

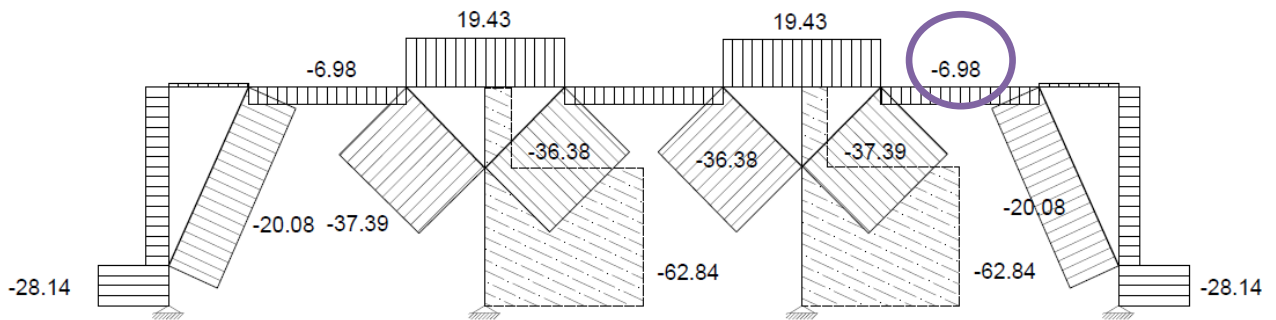
Koeficijent pravokutnog poprečnog presjeka

$K_m = 0.7$

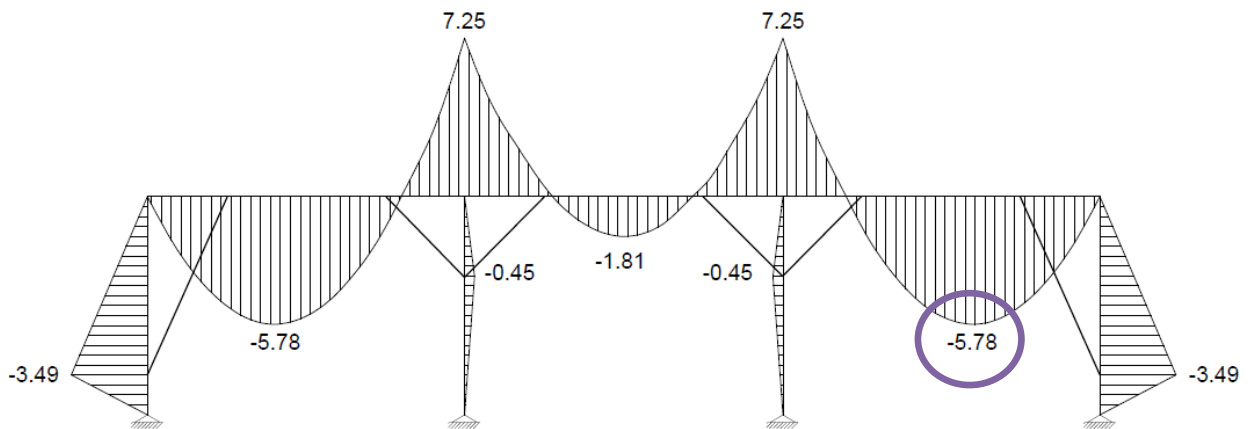
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{0.66}{0.42 \times 12.92} \right) + \left(0.7 \times \frac{10.61}{1.00 \times 14.77} \right) \leq 1$$
$$0.62 \leq 1$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 79 %

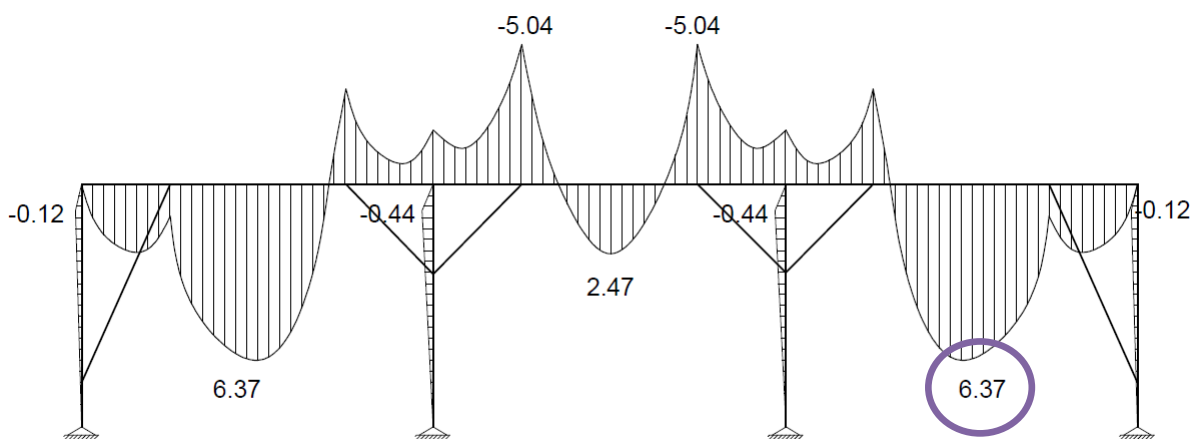
Podrožnica



Slika 6 N_d dijagram za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetar + Unutarnji podtlak (sve u kN)



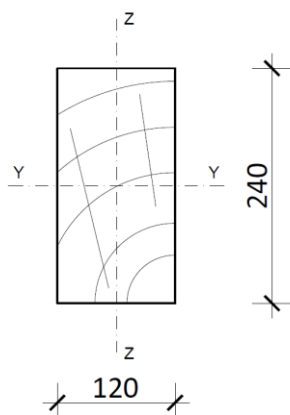
Slika 7 $M_{z,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetra + Unutarnji podtlak (sve u kNm)



Slika 8 $M_{y,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetra + Unutarnji podtlak (sve u kNm)



Dimenzije poprečnog presjeka 120 mm x 240 mm



$$A=120 \times 240=28800 \text{ mm}^2$$

$$W_Y=\frac{120 \times 240^2}{6}=1152000 \text{ mm}^2$$

$$W_Z=\frac{240 \times 120^2}{6}=576000 \text{ mm}^2$$

Duljina izvijanja Y

$$l_{ef,y}=2000 \text{ mm}$$

Duljina izvijanja Z

$$l_{ef,z}=4000 \text{ mm}$$

Srednji modul posmika za drvo C30

$$G_{mean}=750 \text{ N/mm}^2$$

Srednji modul elastičnosti za drvo C30

$$E_{0,mean}=12000 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristični modul elastičnosti za drvo C30

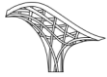
$$E_{0,05}=8000 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična čvrstoća na savijanje za drvo C30

$$f_{m,k}=30 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična čvrstoća na tlak paralelno sa vlakancima za drvo C30

$$f_{c,0,k}=23 \text{ N/mm}^2$$



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:

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

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

Savijanje Y + bočno izvijanje

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \times b^2 \times E_{0,05}}{I_{efz} \times h} \times \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = 94.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = 0.56$$

$$0.75 \leq \lambda_{rel,m} \rightarrow k_{crit,y} = 1.00$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 18.46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 5.53 \text{ N/mm}^2$$

Savijanje Z + bočno izvijanje

$$\sigma_{m,crit,z} = \frac{\pi \times h^2 \times E_{0,05}}{I_{efy} \times b} \times \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = 1507.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,z}}} = 0.14$$



$$0.75 \leq \lambda_{rel,m} \rightarrow k_{crit,z} = 1.00$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{Y_m} = 18.46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = 10.03 \text{ N/mm}^2$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 0.24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{Y_m} = 14.15 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_{min}} = 115.26$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 5.94 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 1.96$$

$\beta_c = 0.2$ za masivno drvo

$$k_z = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.5) + \lambda_{rel,z}^2] = 2.56$$

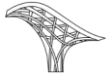
$$\frac{1}{k_{c,z}} = k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} = 4.21$$

$$k_{c,z} = 0.24$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 0.24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{Y_m} = 14.15 \text{ N/mm}^2$$



$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_{min}} = 28.82$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 94.96 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 0.49$$

$$0.5 \leq \lambda_{rel,y} \rightarrow k_{c,y} = 1.00$$

Dokaz nosivosti

Koeficijent pravokutnog poprečnog presjeka

$$K_m = 0.7$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}} \right) + \left(k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \times f_{m,z,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{0.24}{1.00 \times 14.15} \right) + \left(\frac{5.53}{1.00 \times 18.46} \right) + \left(0.7 \times \frac{10.03}{1.00 \times 18.46} \right) \leq 1$$
$$0.70 \leq 1$$

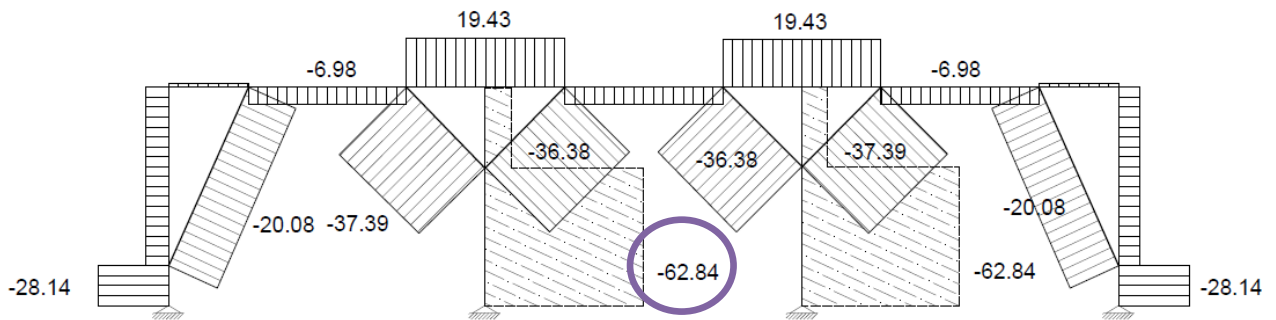
Koeficijent pravokutnog poprečnog presjeka

$$K_m = 0.7$$

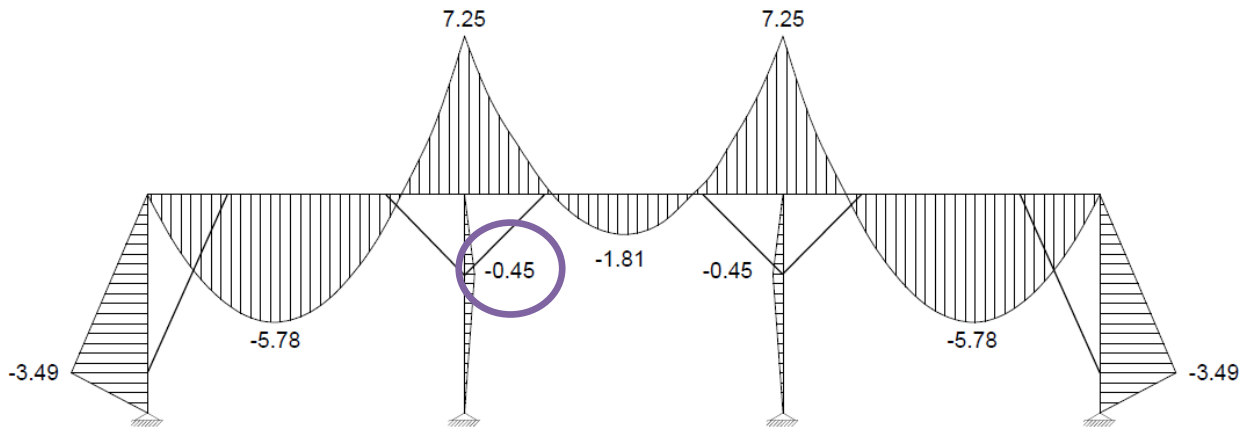
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \times f_{m,y,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \times f_{m,z,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{0.24}{0.24 \times 14.15} \right) + \left(0.7 \times \frac{5.53}{1.00 \times 18.46} \right) + \left(\frac{10.03}{1.00 \times 18.46} \right) \leq 1$$
$$0.82 \leq 1$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 82 %

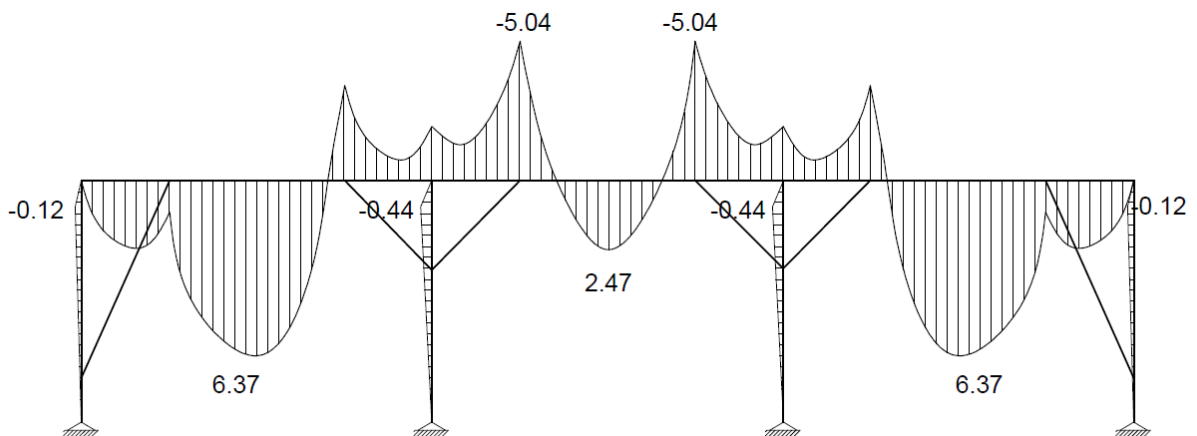
Stup



Slika 9 N_d dijagram za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetar + Unutarnji podtlak (sve u kN)



Slika 10 $M_{z,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetra + Unutarnji podtlak (sve u kNm)

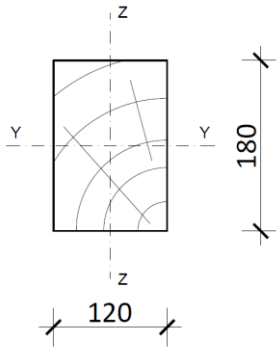


Slika 11 $M_{y,d}$ za kombinaciju djelovanja Stalno + Snijeg III + Vjetra + Unutarnji podtlak (sve u kNm)



Dimenzije poprečnog presjeka 180 mm x 120 mm

Napomena: U proračun se ulazi sa dimenzijom poprečnog presjeka 120 mm x 120 mm poradi zasijecanja stupova od cca. 6 cm kako bi se mogle izvesti ruke



$$A=120 \times 120=14400 \text{ mm}^2$$

$$W_Y=\frac{120 \times 120^2}{6}=288000 \text{ mm}^2$$

$$W_z=\frac{120 \times 120^2}{6}=288000 \text{ mm}^2$$

Duljina izvijanja Y

$$l_{ef,y}=2800 \text{ mm}$$

Duljina izvijanja Z

$$l_{ef,z}=2000 \text{ mm}$$

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:

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

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

Savijanje Z + bočno izvijanje

$$k_{crit,z}=1.00$$

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

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = 1.56 \text{ N/mm}^2$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Z

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 4.36 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_{min}} = 57.63$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 21.97 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = 0.98$$



$$\beta_c = 0.2 \text{ za masivno drvo}$$

$$k_z = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.5) + \lambda_{rel,z}^2] = 1.03$$

$$\frac{1}{k_{c,z}} = k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} = 1.35$$

$$k_{c,z} = 0.74$$

Tlak paralelno sa vlakancima + izvijanje Y

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 4.36 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_{min}} = 80.68$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 11.21 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = 1.36$$

$$\beta_c = 0.2 \text{ za masivno drvo}$$

$$k_y = 0.5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.5) + \lambda_{rel,y}^2] = 1.51$$

$$\frac{1}{k_{c,y}} = k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} = 2.17$$

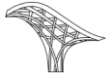
$$k_{c,y} = 0.46$$

Dokaz nosivosti

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(0.7 \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \times f_{m,z,d}} \right) \leq 1$$

$$\left(\frac{4.36}{0.46 \times 12.92} \right) + \left(0.7 \times \frac{1.56}{1.00 \times 14.77} \right) \leq 1$$

$$0.81 \leq 1$$



Koeficijent pravokutnog poprečnog presjeka

$$K_m=0.7$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \right) + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \times f_{m,z,d}} \right) \leq 1$$
$$\left(\frac{4.36}{0.74 \times 12.92} \right) + \left(\frac{1.56}{1.00 \times 14.77} \right) \leq 1$$
$$0.56 \leq 1$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 81 %

Potrebna količina materijala

Za krovište iz statičkog proračuna tlocrtne površine cca. 120m² potrebno cca. **6 m³** drveta klase C24 i C30 što iznosi **0.05 m³** drveta **po 1m² tlocrta.**