

# STATIČKI PRORAČUN LUČNE HALE

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 i lamelirano lijepljeno drvo, maksimalna visina objekta iznosili 13 metara, raspon 30 metara, a lokacija za koju je projekt previđen je Plaški (Hrvatska). Kod projektiranja spojeva potrebno koristiti vijke

### DIMENZIJE OBJEKTA

Tlocrtna dimenzija objekta su 45.50 metara X 31.47 metara. Visina objekta od kote zaravnatog terena je 12.95 metara.

### POKROV

Projektirani pokrov objekta je staklo debljine 19 milimetara.

### SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

Sekundarna konstrukcija tj. podrožnice nalaze se na osnovnom razmaku 1.34 metra po cijelom opsegu glavnog nosača. Raspon sekundarne konstrukcije jednak je razmaku glavnih nosača te iznosi 3.5 metara. Poprečni presjek sekundarne konstrukcije je dimenzija 16 centimetara X 20 centimetara, te je nagib različit kod svakog nosača s obzirom na položaj u konstrukciji. Svi elementi su duljine 3.5 metara te se na svakom glavnom nosaču vrši spajanje čeličnim kutnicama, koji se za glavni nosač priključuju sa 4 vijka za drvo tipa Sihga GoFix FS 6mm X 140mm. Materijal koji je odabran za sekundarnu konstrukciju je KVH drvo klase C30, vlažnosti manje od 18 %.

### GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Glavna nosiva konstrukcija je lučnog tipa. Osnovni raspon luka je 30 metara, a visina je 12 metara. Materijal koji je izabran za izvedbu je lamelirano lijepljeno drvo klase GL32h, a dimenzije poprečnog presjeka su 16 centimetara X 150 centimetara. Lamelirano lijepljeno drvo mora biti vlažnosti manje od 18 % kako bi imalo projektirana svojstva. Osnovni razmak među glavnim nosačima je 3.5 metara, a objekt je sačinjen od 14 glavnih lučnih nosača.

---



## **VJETROVNI SPREG**

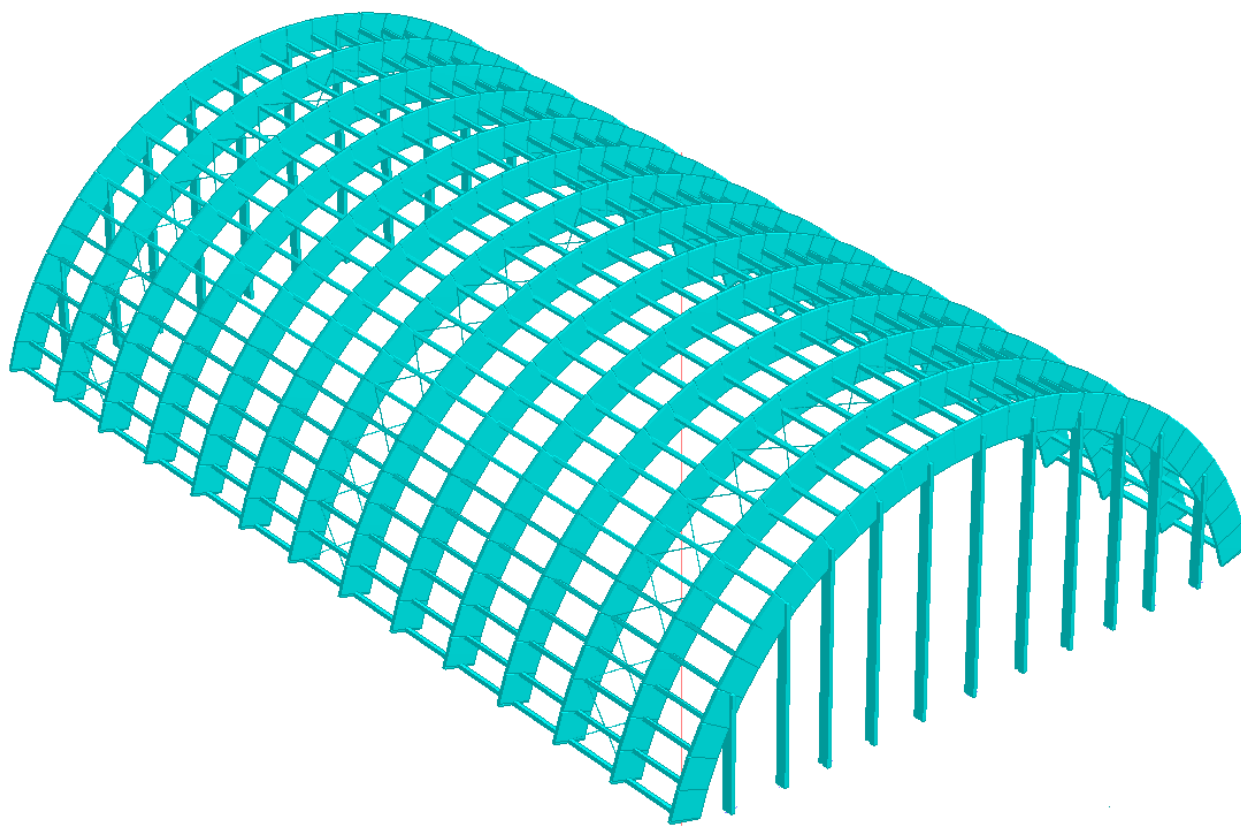
Vjetrovni spreg se nalazi između glavnih nosača, a ispod podrožnica. Na cijelom objektu postoje 3 vjetrovna sprega, koji su međusobno udaljeni 17.50 metara te tako stabiliziraju maksimalno 5 glavnih nosača. Spregovi su kružnog poprečnog presjeka promjera 20 milimetara, isti moraju biti od čelika S355, a pričvršćeni su na glavni nosač pomoću čeličnih ploča.

## **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. Čelični elementi i spajala moraju biti vruće pocinčana, te nisu potrebni naknadni premazi.



## STATIČKI PRORAČUN LUČNE HALE



Slika 1 Prikaz statičkog modela lučne hale

### Analiza opterećenja

#### Stalno opterećenje

Staklo debljine 19 mm	$[0.019 \times 25]$	0.475 kN/m <sup>2</sup>
<u>Podrožnica C30</u>	<u><math>[0.16 \times 0.2 \times 5 / 1.34]</math></u>	<u>0.119 kN/m<sup>2</sup></u>
		$\Sigma$ 0.59 kN/m <sup>2</sup>

#### Promjenjivo opterećenje

##### Snijeg

Lokacija objekta Plaški 374 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

$s_k=1.75 \text{ kN/m}^2$

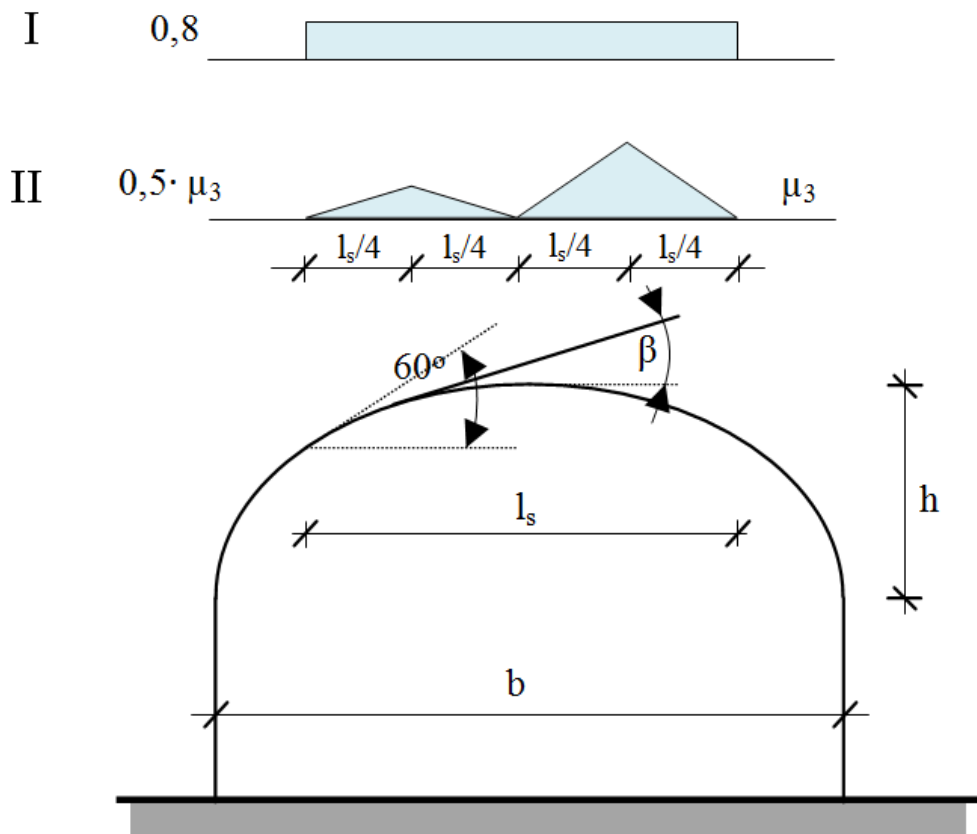
$c_e$ =koeficijent izloženosti

$c_e=1$

$c_t$ =koeficijent topline

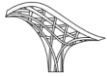
$c_t=1$

$\mu_i$ =koeficijent oblika za cilindrične krovove

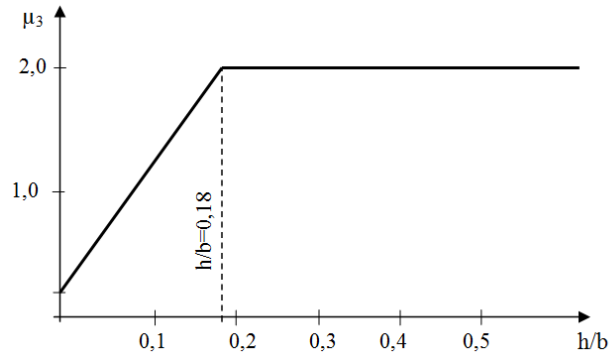


Slika 2 Parametri za određivanje koeficijenta oblika kod cilindričnih krovova

$\mu_{i1}=0.8$  (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

$h=12.00$  m

$b$  = raspon luka

$b=30.00$  m

Odnos  $h/b$  za očitavanje dijagrama

$$\frac{h}{b}=0.40$$

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

Djelovanje snijega po  $m^2$  tlocrtno:

$$s_I=0.80 \times 1 \times 1 \times 1.75=1.40 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{II, \text{lijevo}}=1.00 \times 1 \times 1 \times 1.75=1.75 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{II, \text{desno}}=2.00 \times 1 \times 1 \times 1.75=3.50 \text{ kN/m}^2$$

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)

$v_{b,0}=30$  m/s

$\rho$ =gustoća zraka

$\rho=1.25$  kN/m<sup>2</sup>

$$q_p = \frac{\rho}{2} \times v_{b,0}^2 = \frac{1.25}{2 \times 1000} \times 30^2 = 0.56 \text{ kN/m}^2$$

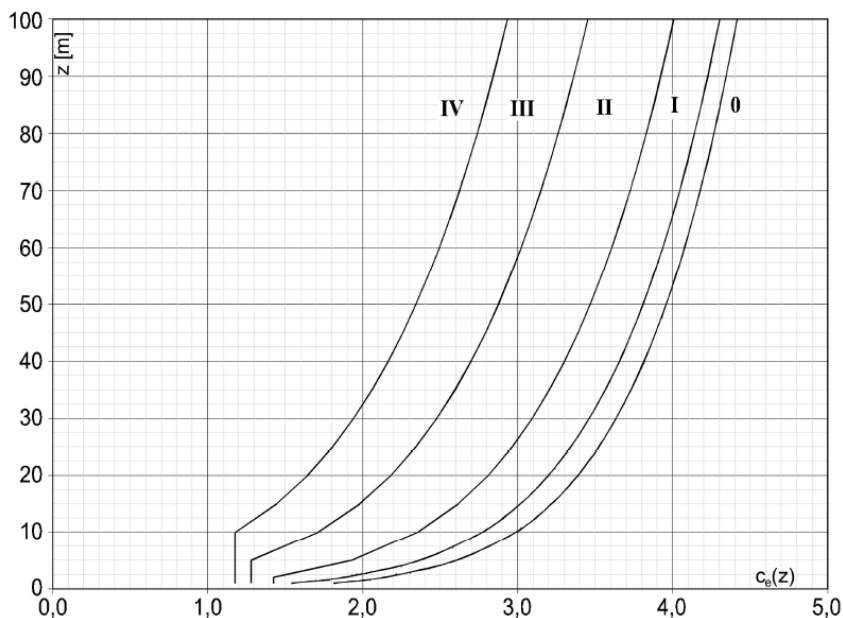
$c_e(z)$ =koeficijent izloženosti

III kategorija zemljišta

$z$ =visina objekta

$z=12.00$  m

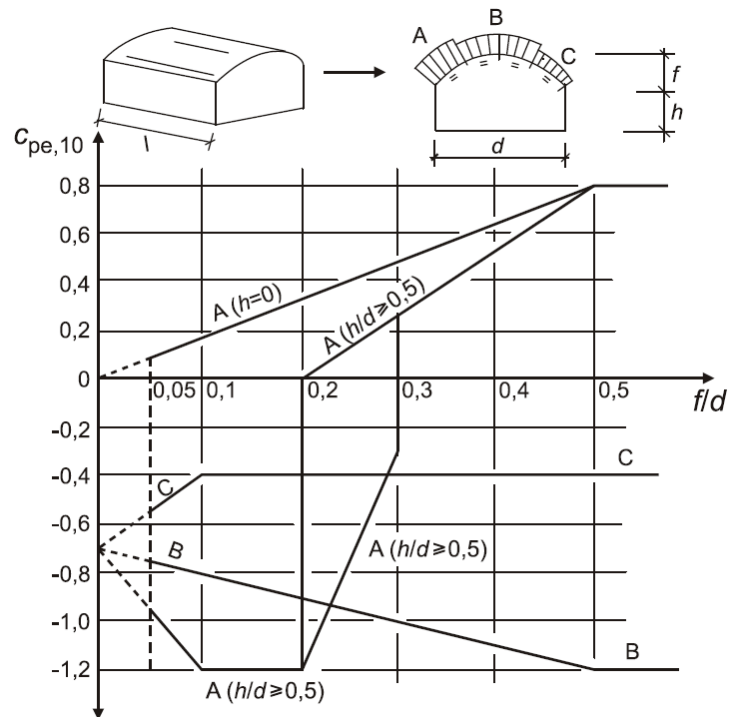
Koeficijent izloženosti određuje se pomoću dijagrama:



Dijagram 2 Ovisnost koeficijenta izloženosti o visini objekta te vrsti terena

$c_e(z)=1.90$  (očitano iz dijagrama)

Koeficijent vanjskog tlak na krovnu površinu



Dijagram 3 Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za valjkaste krovove

f=visina luka (krov)

f=12.00 m

d=raspon luka (krov)

d=30.00 m

h=visina zida (krov)

h=0.00 m

Odnos h/d za očitavanje dijagrama

$$\frac{h}{d}=0$$

Odnos f/d za očitavanje dijagrama

$$\frac{f}{d}=0.40$$



Očitane vrijednosti  $c_{pe}$ :

Područje A= 0.65 (krov)

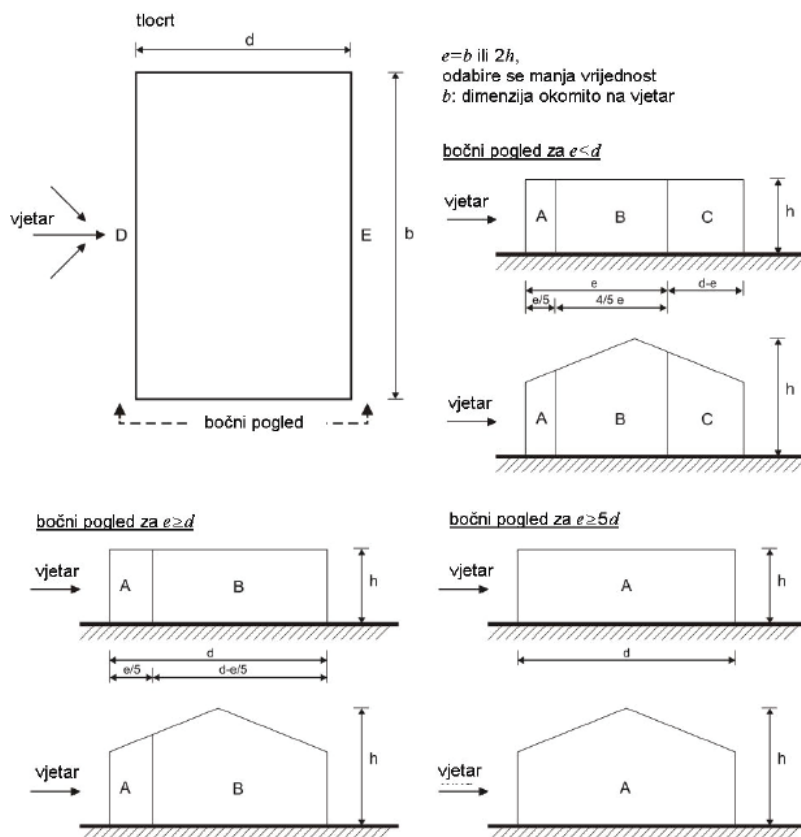
Područje B= -1.10 (krov)

Područje C= -0.40 (krov)

Pritisak vjetra na krovne površine

Područje	$q_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C_e(z)$	$C_{pe}$	$w_e = q_p \times C_e(z) \times C_{pe}$ (kN/m <sup>2</sup> )
A	0.56	1.90	0.65	0.69
B	0.56	1.90	-1.10	-1.17
C	0.56	1.90	-0.40	-0.43

Koeficijent vanjskog tlak na zid



Slika 3 Parametri i oznake vertikalnih zidova za izračunavanje koeficijenta vanjskog tlaka



Područje	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tablica 1 Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove

e= 24.00

h=visina luka (zid)

h=12.00 m

d=raspon luka (zid)

d=30.00 m

Odnos h/d za očitavanje (zid)

$$\frac{h}{d}=0.40$$

Očitane vrijednosti  $c_{pe(10)}$ :

Područje A= -1.20 (zid)

Područje B= -0.80 (zid)

Područje C= -0.50 (zid)

Pritisak vjetra na površine zida

Područje	$q_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C_e(z)$	$C_{pe}$	$w_e=q_p \times C_e(z) \times C_{pe}$ (kN/m <sup>2</sup> )
A	0.56	1.90	-1.20	-1.28
B	0.56	1.90	-0.80	-0.85
C	0.56	1.90	-0.50	-0.53



### 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)

$v_{b,0} = 30$  m/s

$\rho$  = gustoća zraka

$\rho = 1.25$  kN/m<sup>2</sup>

$$q_p = \frac{\rho}{2} \times v_{b,0}^2 = \frac{1.25}{2 \times 1000} \times 30^2 = 0.56 \text{ kN/m}^2$$

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

$z$  = visina objekta

$z = 12.00$  m

Koeficijent izloženosti određuje se pomoću Dijagrama 2

$c_e(z) = 1.90$

$c_{pi}$  = 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 <sup>2</sup> )	$c_e(z)$	$c_{pi}$	$w_e = q_p \times c_e(z) \times c_{pi}$ (kN/m <sup>2</sup> )
0.56	1.90	0.35	0.37
0.56	1.90	-0.50	-0.53



Analiza djelovanja po m' podrožnice

Stalno

$$G_k = 0.59 \times 1.34 = 0.79 \text{ kN/m}$$

Snijeg II slučaj desno  $\alpha = 20^\circ$

$$Q_{k,s} = 3.50 \times \cos 20^\circ \times 1.34 = 4.41 \text{ kN/m}$$

Vjetar zona B

$$Q_{k,w} = -1.17 \times 1.34 = -1.57 \text{ kN/m}$$

Kombinacije djelovanja GSN

**STALNO + SNIJEG**

$$q_{z,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.50 \times 4.41) \times \cos 20^\circ = 7.22 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.50 \times 4.41) \times \sin 20^\circ = 2.63 \text{ kN/m}$$

**STALNO + VJETAR**

$$q_{z,d} = (1.35 \times 0.79) \times \cos 20^\circ + 0 \times (-1.57) = 1.00 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = (1.35 \times 0.79) \times \sin 20^\circ = 0.36 \text{ kN/m}$$

**STALNO + SNIJEG + VJETAR**

$$q_{z,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.5 \times 4.41) \times \cos 20^\circ + 0 \times 0.6 \times (-1.57) = 7.22 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.5 \times 4.41) \times \sin 20^\circ = 2.63 \text{ kN/m}$$

**STALNO + VJETAR + SNIJEG**

$$q_{z,d} = (1.35 \times 0.79) \times \cos 20^\circ + 0 \times (-1.57) + (1.5 \times 4.41 \times 0.7) \times \cos 20^\circ = 5.35 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.5 \times 0.7 \times 4.41) \times \sin 20^\circ = 1.94 \text{ kN/m}$$

**POJEDNOSTAVLJENO PRAVILO STALNO + SNIJEG**

$$q_{z,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.50 \times 4.41) \times \cos 20^\circ = 7.22 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = (1.35 \times 0.79 + 1.50 \times 4.41) \times \sin 20^\circ = 2.63 \text{ kN/m}$$

**ODABRANO ZA DIMENZIONIRANJE**

$$q_{z,d} = 7.22 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = 2.63 \text{ kN/m}$$

## Projektirane vrijednosti reznih sila

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \times l^2}{8} = 11.05 \text{ kNm}$$

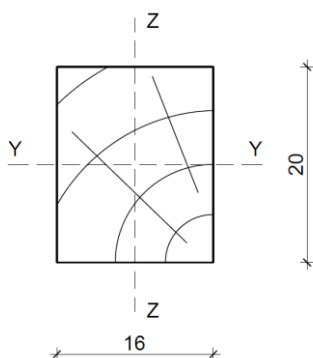
$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \times l^2}{8} = 4.02 \text{ kNm}$$

$$V_{y,d} = \frac{q_{y,d} \times l}{8} = 4.06 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = \frac{q_{z,d} \times l}{8} = 12.64 \text{ kN}$$

$$V = \sqrt{V_{z,d}^2 + V_{y,d}^2} = 13.45 \text{ kN}$$

## Odabrane dimenzije poprečnog presjeka



$$A = 320 \text{ cm}^2$$

$$W_y = 1067 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 853 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 10667 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 6827 \text{ cm}^4$$

## Parametri za proračun građa C30

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

$$f_{v,m} = 3 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_M = 1.30$$

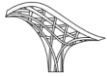
Klasa uporabljivosti 1 vlažnost  $\leq 12\%$

$$k_{\text{mod}} = 0.8 \quad (1 \text{ klasa, srednjetrajno djelovanje})$$

$$k_m = 0.7$$

Projektirana vrijednost svojstva gradiva – savijanje

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 1.85 \text{ kN/cm}^2$$



Dokaz nosivosti presjeka na savijanje

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 1.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = 0.47 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0.73 \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0.61 \leq 1$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 73%

Dokaz nosivosti presjeka na posmik

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

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{Y_M} = 0.185 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{v,d} = 1.5 \frac{V_d}{A} = 0.06 \text{ kN/cm}^2$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 35%

### Proračun progiba GSU

Građa sekundarne konstrukcije C30

$$E_{o, \text{mean}} = 12000 \text{ N/mm}^2 = 1200 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_{o, \text{mean}} = 750 \text{ N/mm}^2 = 75 \text{ kN/cm}^2$$

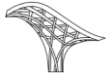
$$k_{\text{def}, G} = 0.60$$

$$k_{\text{def}, Q} = 0.25$$

Stalno djelovanje

$$q_{z,d}^{G_k} = 0.79 \times \cos 20^\circ = 0.74 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d}^{G_k} = 0.79 \times \sin 20^\circ = 0.27 \text{ kN/m}$$



### Promjenjivo djelovanje - snijeg

$$q_{z,d}^{Q_{k,s}} = 4.41 \times \cos 20^\circ = 4.14 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d}^{Q_{k,s}} = 4.41 \times \sin 20^\circ = 1.51 \text{ kN/m}$$

### Projektirane vrijednosti reznih sila

Stalno djelovanje:

$$M_{y,d}^{G_k} = \frac{0.74 \times 3.50^2}{8} = 1.13 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d}^{G_k} = \frac{0.27 \times 3.50^2}{8} = 0.41 \text{ kNm}$$

Promjenjivo djelovanje - snijeg:

$$M_{y,d}^{Q_{k,s}} = \frac{4.14 \times 3.50^2}{8} = 6.34 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d}^{Q_{k,s}} = \frac{1.51 \times 3.50^2}{8} = 2.31 \text{ kNm}$$

### KOMBINACIJA DJELOVANJA STALNO+SNIJEG

Stalno djelovanje:

$$u_{inst,y}^{G_k} = \frac{5}{48} \times \frac{M_{y,d}^{G_k} \times l^2}{E_{o,mean} \times I_y} + 1.2 \times \frac{M_{y,d}^{G_k}}{G_{o,mean} \times A}$$

$$u_{inst,y}^{G_k} = \frac{5}{48} \times \frac{1.13 \times 100 \times 350^2}{1200 \times 10667} + 1.2 \times \frac{1.13 \times 100}{75 \times 320}$$

$$u_{inst,y}^{G_k} = 0.115 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z}^{G_k} = \frac{5}{48} \times \frac{M_{z,d}^{G_k} \times l^2}{E_{o,mean} \times I_z} + 1.2 \times \frac{M_{z,d}^{G_k}}{G_{o,mean} \times A}$$

$$u_{inst,z}^{G_k} = \frac{5}{48} \times \frac{0.41 \times 100 \times 350^2}{1200 \times 6827} + 1.2 \times \frac{0.41 \times 100}{75 \times 320}$$

$$u_{inst,z}^{G_k} = 0.07 \text{ cm}$$

$$u_{inst}^{G_k} = \sqrt{u_{inst,y}^{G_k}{}^2 + u_{inst,z}^{G_k}{}^2} = \sqrt{1.15^2 + 0.7^2} = 1.34 \text{ mm}$$

$$k_{def,G} = 0.6$$

$$u_{fin}^{G_k} = u_{inst}^{G_k} \times (1 + k_{def,G}) = 1.34 \times (1 + 0.6) = 2.2 \text{ mm}$$



Progib od stalnog djelovanja

$$u_{fin}^{G_k} = 2.2 \text{ mm} < l/200 = 17.5 \text{ mm}$$

Promjenjivo djelovanje - snijeg:

$$u_{inst,y}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \times \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}} \times l^2}{E_{o,mean} \times I_y} + 1.2 \times \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}}}{G_{o,mean} \times A}$$

$$u_{inst,y}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \times \frac{6.34 \times 100 \times 350^2}{1200 \times 10667} + 1.2 \times \frac{6.34 \times 100}{75 \times 320}$$

$$u_{inst,y}^{Q_{k,s}} = 0.68 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \times \frac{M_{z,d}^{Q_{k,s}} \times l^2}{E_{o,mean} \times I_z} + 1.2 \times \frac{M_{z,d}^{Q_{k,s}}}{G_{o,mean} \times A}$$

$$u_{inst,z}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \times \frac{2.31 \times 100 \times 350^2}{1200 \times 6827} + 1.2 \times \frac{2.31 \times 100}{75 \times 320}$$

$$u_{inst,z}^{Q_{k,s}} = 0.37 \text{ cm}$$

$$u_{inst,z}^{Q_{k,s}} = \sqrt{u_{inst,y}^{Q_{k,s}^2} + u_{inst,z}^{Q_{k,s}^2}} = \sqrt{6.8^2 + 3.7^2} = 7.74 \text{ mm}$$

$$k_{def,Q} = 0.0$$

$$u_{fin}^{Q_{k,s}} = u_{inst,z}^{Q_{k,s}} \times (1 + k_{def,Q}) = 7.74 \times (1 + 0.0) = 9.68 \text{ mm}$$

Progib od promjenjivog djelovanja - snijeg

$$u_{fin}^{Q_{k,s}} = 9.68 \text{ mm} < l/300 = 11.6 \text{ mm}$$

Konačna vrijednost progiba:

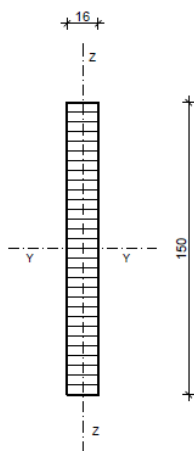
$$u_{fin} = 2.2 + 9.66 = 11.88 \text{ mm} < l/200 = 17.5 \text{ mm}$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 67%



## Analiza djelovanja u glavnom nosaču

### Dimenzije poprečnog presjeka



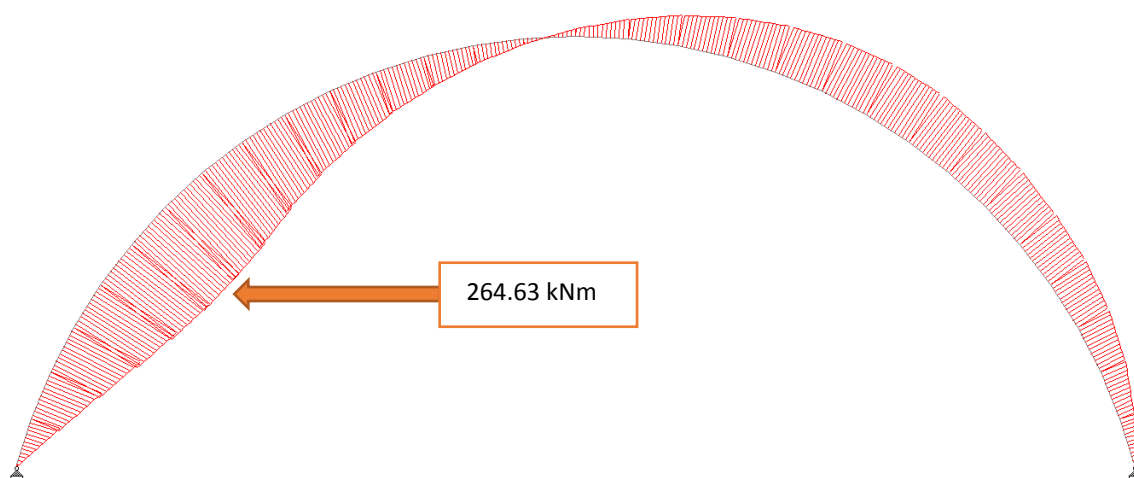
Debljina lamele 3cm

Radijus zakrivljenosti intradosa

$$r_{int}=14630\text{mm}$$

### Kombinacija djelovanja

(Stalno + Vjetar x-x + Unutarnji podtlak + Trenje po krovu)



Slika 4  $M_{y,d}$  dijagram na najopterećenijem glavnom nosaču za navedenu kombinaciju

### Nosivost na savijanje

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_r \cdot x f_{m,d}$$

$k_r$ =koeficijent smanjenja proračunske čvrstoće

$$k_r = \frac{r_{int}}{t} = \frac{14630}{30} = 487 \geq 240$$

Uzimamo 1



$$\sigma_{m,y,d} = k_1 \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$k_1$  = koeficijent nelinearne raspodjele po visini

$$k_1 = k_1 + k_2 \left(\frac{h}{R}\right) + k_3 \left(\frac{h}{R}\right)^2 + \left(\frac{h}{R}\right)^3$$

$\alpha = 0^\circ \rightarrow$  za nosače sa zakrivljenim područjem tjemena

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan 0^\circ + 5.4 \tan 0^{\circ 2} = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan 0^\circ = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan 0^\circ - 7.8 \tan 0^{\circ 2} = 0.6$$

$$k_4 = 6 \tan 0^\circ = 0$$

$$k_1 = 1 + 0.35 \left(\frac{1500}{14630}\right) + 0.35 \left(\frac{1500}{14630}\right)^2 + 0 \left(\frac{1500}{14630}\right)^3 = 1.04$$

$$W_y = \frac{b x h^2}{6} = \frac{160 \times 1500^2}{6} = 60000000 \text{ mm}^2$$

$$M_{y,d} = 264625000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1.04 \frac{264625000}{60000000} = 4.85 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{Y_M} = 0.8 \frac{32}{1.3} = 19.69 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_r \times f_{m,d}$$

$$4.58 \text{ N/mm}^2 \leq 19.69 \text{ N/mm}^2$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 23%

Nosivost na vlak okomito na vlakanca

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 \times M_{y,d}}{b x h^2} \leq k_{\text{dis}} (V_0/V)^{0.2} f_{t,90,d}$$



$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h}{R}\right) + k_7 \left(\frac{h}{R}\right)^2$$

$\alpha = 0^\circ \rightarrow$  za nosače sa zakrivljenim područjem tjemena

$$k_5 = 0.2 \tan 0^\circ = 0$$

$$k_6 = 0.25 - 1.5 \tan 0^\circ + 2.6 \tan^2 0^\circ = 0.25$$

$$k_7 = 1.2 \tan 0^\circ - 4 \tan^2 0^\circ = 0$$

$$k_p = 0 + 0.25 \left(\frac{1500}{14630}\right) + 0 \left(\frac{1500}{14630}\right)^2 = 0.025$$

$k_{dis} = 1.4 \rightarrow$  za zakrivljene nosače sa zakrivljenog ekstradosa

$$V_0 = 0.01 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{b \times h \times l}{2} = \frac{0.16 \times 1.5 \times 40}{2} = 4.8 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$V_b = 0.16 \times 1.5 \times 40 = 9.6 \text{ m}^3$$

$$2 \times 9.60 / 3 = 6.4 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0.025 \frac{6 \times 264625000}{160 \times 1500^2} = 0.11 \text{ N/mm}^2 \leq 1.4 \left(\frac{0.01}{4.8}\right)^{0.2} \times 0.3 = 0.12 \text{ N/mm}^2$$

$$0.11 \text{ N/mm}^2 \leq 0.12 \text{ N/mm}^2$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 91%

Dokaz stabilnosti

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crt} \times f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,crt,y} = \frac{\pi \times b^2 \times E_{0,05}}{l_{efz} \times h} \times \sqrt{\frac{G_{0,men}}{E_{0,men}}} = \frac{3.14 \times 160^2 \times 11100}{4000 \times 1500} \times \sqrt{\frac{850}{13700}} = 37.04 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$



$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{32}{37.04}} = 0.92$$

$$0.75 < 0.92 \leq 1.4$$

$$k_{crit} = 1.56 - 0.75 \times 0.92 = 0.81$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{264625000}{60000000} = 4.41 \text{ N/mm}^2 \leq k_{crit} \times f_{m,d} = 0.81 \times 19.69 = 15.94 \text{ N/mm}^2$$

$$4.41 \text{ N/mm}^2 \leq 15.94 \text{ N/mm}^2$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 27%

Nosivost presjeka na posmik

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

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{Y_M} = 0.8 \frac{3.80}{1.30} = 2.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{v,d} = 1.5 \frac{V_d}{A} = 1.5 \frac{68156}{24000} = 0.43 \text{ N/mm}^2$$

$$k_v = 1$$

$$0.43 \text{ N/mm}^2 \leq 2.33 \text{ N/mm}^2$$

Presjek zadovoljava iskoristivost 19%