

# Proračun drvenog krovnog nosivog sustava

---

Crkorić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:986975>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-05**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

## ZAVRŠNI RAD

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

**PRORAČUN DRVENOG KROVNOG  
NOSIVOG SUSTAVA**

Split, 2024.

**Sažetak:**

Zadatak za završni rad obuhvatio je proračun i dimenzioniranje drvene konstrukcije ovisno o opterećenjima te zahtjevima za vatrootpornost u trajanju od 30 minuta.

Glavni nosivi okvir je sastavljen od grede naslonjene na AB zid/stup svijetle visine 4,8 m. Konstrukcija, ukupnih dimenzija 20.0 x 50.0 m, se nalazi u Splitu na lokaciji sa kategorijom terena II.

Konstruktivni elementi materijala izrade GL28h (sa iznimkom spregova koji su čelični) dimenzionirani su prema graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju uporabljivosti.

Rad sadržava nacрте konstrukcije uz detalje spojeva koji zadovoljavaju tražene zahtjeve za vatrootpornost.

**Ključne riječi:**

Drvena konstrukcija, elementi konstrukcije, dimenzioniranje, spojevi, nacрти, vatrootpornost

**DIMENSIONING OF WOODEN ROOF BEARING SYSTEM****Summary:**

The task for the final work included the calculation and dimensioning of the wooden structure depending on the loads and the requirements for fire resistance for a duration of 30 minutes.

The main load-bearing frame is composed of a beam resting on a reinforced concrete wall/column with a clear height of 4.8 m. The structure, with total dimensions of 20.0 x 50.0 m, is located in Split on a location with terrain category II.

Constructive elements made of GL28h material (with the exception of couplings which are steel) are dimensioned according to the load-bearing limit state and serviceability limit state.

The work contains construction drawings with details of joints that meet the required requirements for fire resistance.

**Keywords:**

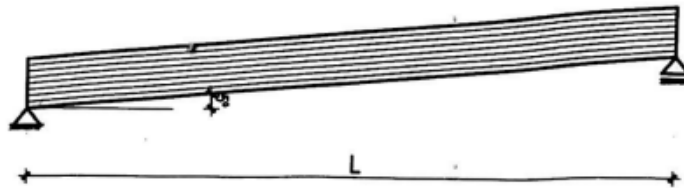
Wooden structure, structural elements, dimensioning, joints, drawings, fire resistance



**PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KOLEGIJ: OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA**

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

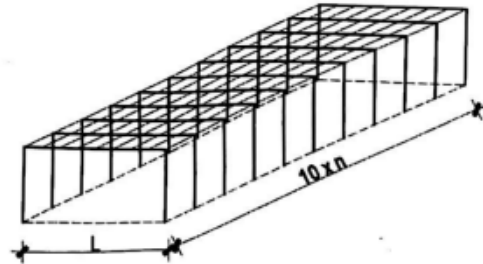
Potrebno je dimenzionirati krovni nosivi sustav prema slici ispod (analiza opterećenja, statički proračun i dimenzioniranje glavnih i sekundarnih nosača, dimenzioniranje detalja nacrti).



**ZADANI PODACI:**

Osni raspon  $L$ : 20,0 m  
Oslonci: AB zid/stup  
Svijetla visina do prvog oslonca: 4,8 m  
Materijal izrade: GL28h, uporabna klasa I  
Lokacija objekta: Split, kategorija terena II  
Razmak glavnih nosača  $n$ : 5 m  
Tip sprega: čelični (X)

**SKICA**



Student: Luka Crmarić

Izv.prof.dr.sc. Neno Torić / Split, 22.03.2024.

*N. Torić*

## **SADRŽAJ**

<b><u>1. TEHNIČKI OPIS</u></b>	<b>1</b>
1.1 KONSTRUKTIVNI SUSTAV KROVA	1
1.2 STATIČKA ANALIZA SUSTAVA	1
1.3 OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA	2
1.4 MATERIJALI	2
1.5 ZAŠTITA	3
<b><u>2. ANALIZA OPTEREĆENJA</u></b>	<b>4</b>
2.1. STALNO OPTEREĆENJE	4
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	4
<b><u>3. STATIČKI PRORAČUN</u></b>	<b>8</b>
3.1 GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (KONTROLA PROGIBA)	8
3.1.1 VLASTITA TEŽINA	8
3.1.2 DODATNO STALNO OPTEREĆENJE	8
3.1.3 SNIJEG	8
3.1.3 VJETAR (PRITISKAJUĆI)	9
3.1.4 UKUPNI PROGIB	9
<b><u>4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KRITIČNU KOMBINACIJU</u></b>	<b>9</b>
<b><u>5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA NOSIVE KONSTRUKCIJE</u></b>	<b>10</b>
5.1 GREDA	10
5.2 PODROŽNICE	13
<b><u>6. STABILIZACIJA</u></b>	<b>15</b>
6.1 HORIZONTALNI VJETAR	15
6.2 SILE:	17
6.3 DOKAZ STABILIZACIJE	17
<b><u>7. SPOJEVI</u></b>	<b>21</b>
7.1 SPOJ GREDA – STUP	21
7.2 SPOJ GREDA – PODROŽNICA	23
7.3 BOČNI SPREG	24
<b><u>8. VATROOTPORNOST</u></b>	<b>25</b>
8.1 GREDA	26
8.2 PODROŽNICE	28

<b><u>9. VATROOTPORNOST SPOJEVA</u></b>	<b>30</b>
9.1 VATROOTPORNOST SPOJA GREDA – STUP	30
9.2 VATROOTPORNOST SPOJA PODROŽNICA – STUP	31
<b><u>10. NACRTI</u></b>	<b>32</b>
10.1 GENERALNI PLAN POZICIJA	
10.2 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA	
10.3 DETALJ SPOJA STUP – GREDA	
10.4 DETALJ SPOJA PODROŽNICA – GREDA	
<b><u>11. LITERATURA</u></b>	<b>33</b>

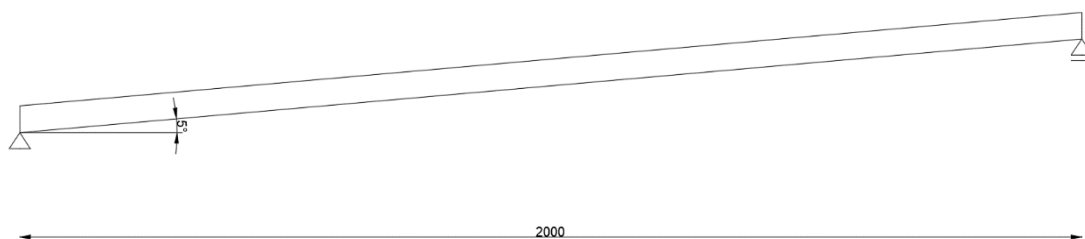
## 1. TEHNIČKI OPIS

### 1.1 Konstruktivni sustav krova

Sustav je izrađen od grede materijala GL28h oslonjenog na AB zid/stup svijetle visine 4,8 m. Greda je nagnuta pod kutem od  $5^\circ$  što spada u kategoriju ravnog krova prema EC 5. Nagib povećava visinski položaj drugog oslonca grede za 1,75 m.

Glavni nosači konstrukcije (grede), kojih ukupno ima 11, međusobno su razmaknuti za  $n = 5.0$  m te su tločno paralelni.

Osni raspon nosača je 20.0 m, a ukupna dužina konstrukcije je 50.0 m ( $10 \times n$ ).



### 1.2 Statička analiza sustava

Analiza se provodi prema EC 5 uzimajući sljedeća opterećenja: vlastita težina, snijeg i vjetar. Vlastita težina obuhvaća djelovanja sendvič panela, sekundarne konstrukcije, spregova i instalacija. Intezitet djelovanja dobiven je ovisno o razmaku glavnih i sekundarnih nosača.

Za promjenjiva opterećenja – vjetar i snijeg, promatra se lokacija objekta koja spada u područje Splita, kategorije terena II, nadmorske visine do 100 m.

Odgovarajući koeficijenti za analizu uzeti su iz propisanih tablica EC-a.

Intezitet opterećenja proračunat je ručno, a ukupno djelovanje u softveru Scia Engineer 21.1 Legacy gdje su proračunati inteziteti umetnuti na krajevima nosača i na položajima sekundarnih nosača.

Za statički proračun upotrijebljena je kombinacija s najvećim utjecajem – vlastita težina konstrukcije + djelovanje snijega + djelovanje vjetra.

Također je izvršena analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji djeluje okomito na glavni nosač i izbočava ga, kako bi se osigurala prostorna stabilizacija konstrukcije.



### 1.3 Opis konstruktivnih elemenata

#### Glavni nosači

Nosivi LLD elementi pravokutnog poprečnog presjeka, dimenzionirani da zadovolje zahtjeve vatrootpornosti te prenose vertikalna opterećenja na nosive zidove i dalje na temeljno tlo. Pod vertikalna opterećenja smatramo vlastitu težinu, snijeg i vjetar.

#### Podrožnice

Podrožnice (ili sekundarni nosači) su vodoravni ili blago naglašeni drveni elementi koji imaju funkciju podrške i ravnomjerne raspodjele tereta na krovu, često na krovnim gredama. Pravokutnog su poprečnog presjeka, razmaka 2,5 m, dimenzionirani tako da zadovoljavaju zahtjeve vatrootpornosti.

#### Spreg

Čelični elementi koji omogućavaju prostornu stabilizaciju konstrukcije. Prenose horizontalne sile i spriječavaju nastanak izbočavanja. Izveden je od čelika S235, okruglog poprečnog presjeka M 20.

### 1.4 Materijali

#### Drveni materijali

Materijal koji je korišten je ljepljeno lamelirano drvo klase GL28h, uporabne klase I. Karakteristične vrijednosti čvrstoća, modula i gustoća odabrane su iz tablica EC-a:

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2 \quad f_{t,0,k} = 22,3 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,0,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12600 \text{ N/mm}^2 \quad G_{\text{mean}} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8400 \text{ N/mm}^2 \quad G_{0,05} = 7000 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = 425 \text{ kg/m}^3$$

#### Metalni elementi

Za bočnu stabilizaciju korišten je metalni spreg okruglog poprečnog presjeka promjera  $\emptyset 20$ , kvalitete čelika S235.

Spoj drvenih elemenata izvršen je vijcima M20 (klase 5.6) i M8 (klase 4.8).

## 1.5 Zaštita

### Zaštita drvenih elemenata

Zaštita se vrši lazurama koji omogućava dugogodišnju zaštitu drveta od vlage, UV zraka i gljivica. Lazura stvara na površini drveta transparentni mat sloj i omogućuje očuvanje njegovog prirodnog izgleda, čime osim zaštitne svrhe daje i estetsku privlačnost.

Premazivanje se vrši dva puta u tvornici i jedan put na terenu.

### Zaštita metalnih elemenata

Ugrađuju se samo pocinčani metalni elementi i spajala.

## 1.6 Montaža i transport

Transport se vrši prema transportnom planu uz suglasnost nadzorne službe. Transportna sredstva su adekvatno odabrana sukladno pravilima i dimenzijama elemenata, a mogućnosti pojave oštećenja su svedene na minimum.

AB stupovi se izrađuju na gradilištu, gdje se nakon njihova očvršćivanja postavljaju glavni nosivi elementi (grede, podrožnice), zatim spregovi te na kraju pokrov.

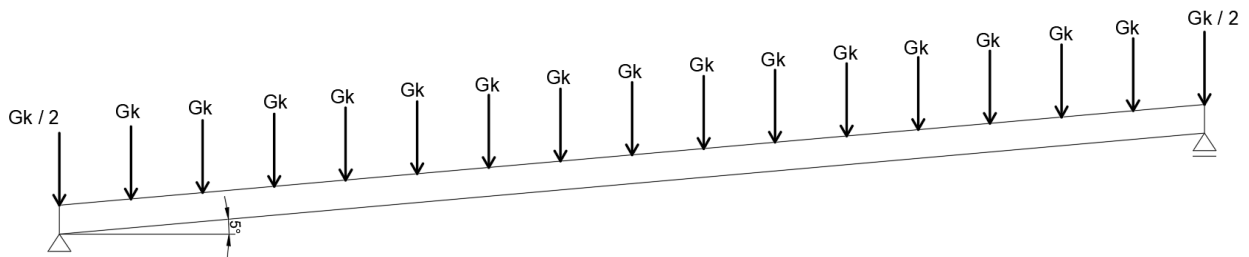
## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. STALNO OPTEREĆENJE

Vlastita težina (gk) = Sendvič paneli (0,25 kN/m<sup>2</sup>) +

$$\begin{aligned} & \text{Sekundarnrna konstrukcija + Spreгови + Instalacije} (0,25 \text{ kN/m}^2) \\ & = 0,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$G_k = g_k \cdot n \cdot a = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,0 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 6,25 \text{ kN}$$



### 2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

#### → Snijeg

Opterećenje snijegom po tlocrtnoj površini krova prema EC 5:

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_i \cdot s_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$\mu_i$  - koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ovisi o obliku i nagibu krova)

$$0^\circ < \alpha = 5^\circ \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$$

$s_k$  - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu (kN/m<sup>2</sup>)

Lokacija - Split ; TABLICA 2 -  $s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

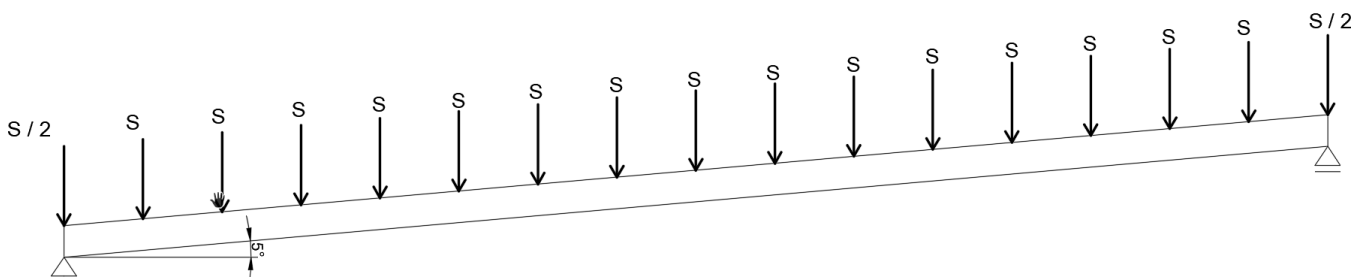
$c_e$  - koeficijent izloženosti ;  $c_t$  - toplinski koeficijent

$$c_t = 1,0 \quad c_e = 1,0$$

$$s = 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 0,40 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$S = s \cdot n \cdot a$$

$$S = 0,4 \text{ (kN/m}^2\text{)} \cdot 5,0 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 5 \text{ kN}$$



→ Vjetar

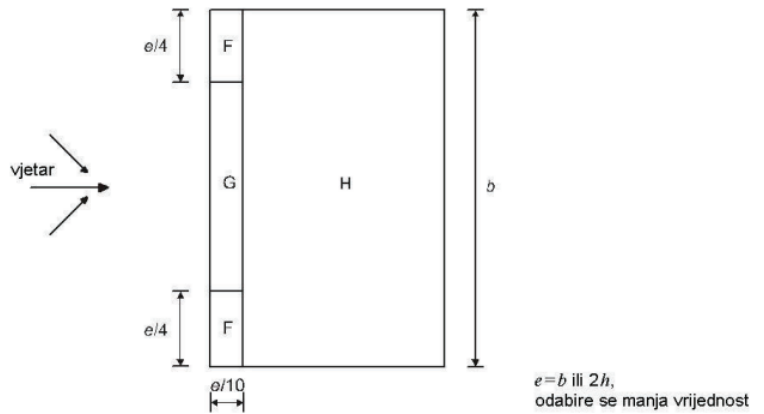
ZONE DJELOVANJA VJETRA  
(RAVNI KROV)

b – ukupna duljina hale

h – visina hale u sljemenu

$$b = 10 * n = 10 * 5 = 50 \text{ m}$$

$$h = 6,55 \text{ m}$$



$$e = 2 * h = 13,1 \text{ m}$$

Glavni nosač upada u raster, promatramo G zonu.

TABLICA vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za jednostrešne krovove:

Nagib $\alpha$	Područje za smjer vjetra $\theta = 0^\circ$					
	F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0	

Referentni pritisak srednje brzine vjetra  $q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$

$\rho$  - gustoća zraka

$$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

$v_b$  - osnovna brzina vjetra (EC 5 karta)

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ (m/s)}$$

$C_{dir}$  – faktor smjera vjetra ;  $C_{season}$  – faktor doba godine

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

## Pritisak brzine vjetra pri udaru

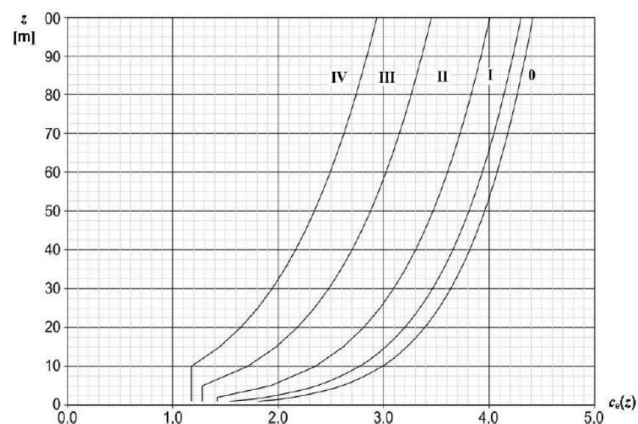
$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$c_e(z)$  - faktor izloženosti

$z_o = 0,05 \text{ m}$  ;  $z = 6,55 \text{ m}$  ;  $z_{\min} = 2 \text{ m}$

$c_e(z) = 2,0$

$$q_p(z) = 2 \cdot 0,39 = 0,78 \text{ kN/m}^2$$



## Unutarnji pritisak vjetra

U prostoriji nema otvora →

$$C_{pi1} = +0,2 \quad C_{pi2} = -0,3$$

$$W_{k,i(+)} = 0,2 \cdot 0,78 = 0,156 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{k,i(-)} = 0,3 \cdot 0,78 = 0,234 \text{ kN/m}^2$$

## Vanjski pritisak vjetra

(iz EC5):

ZONA	F	G	H
Negativni	-1,7	-1,2	-0,6
Pozitivni	0	0	0

Vanjski negativni	Vanjski pozitivni
$W_{E,F} = -1,7 \cdot 0,78 = -1,33$	$W_{E,F} = 0 \cdot 0,78 = 0$
$W_{E,G} = -1,2 \cdot 0,78 = -0,94$	$W_{E,G} = 0 \cdot 0,78 = 0$
$W_{E,H} = -0,6 \cdot 0,78 = -0,47$	$W_{E,H} = 0 \cdot 0,78 = 0$

## Kombinacije – maksimalni pritiskajući i odižući vjetar koji djeluje na konstrukciju

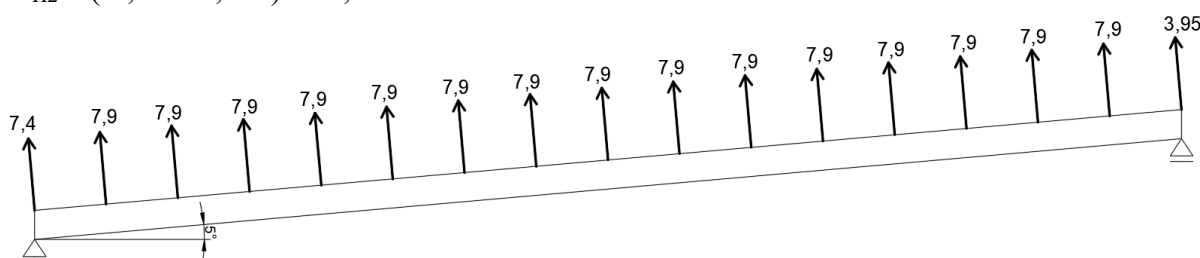
### Odižući (vanjski negativni + unutarnji pozitivni)

PODRUČJE	F	G	H
<b>We</b>	-1,33	-0,94	-0,47
<b>Wi</b>	0,16	0,16	0,16
<b>ukupno</b>	1,49	1,1	0,63
<b>W<sub>ukupno</sub></b>	-7,45	-5,5	-3,15

$$W_G = (-5,5 * 1,3) + (1,3 - 1,255) * (-5,5) = -7,4 \text{ kN}$$

$$W_{H1} = (-3,15 * 2,51) = -7,9 \text{ kN}$$

$$W_{H2} = (-3,15 * 1,255) = -3,95 \text{ kN}$$



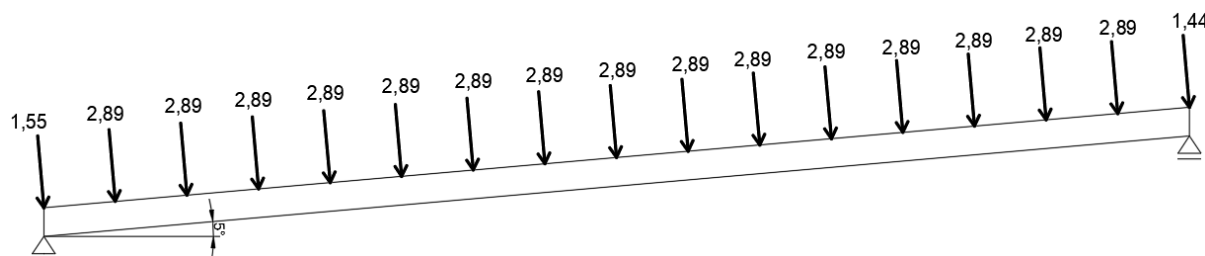
### Podižući (vanjski pozitivni + unutarnji negativni)

PODRUČJE	F	G	H
<b>We</b>	-	-	-
<b>Wi</b>	-0,23	-0,23	-0,23
<b>ukupno</b>	-0,23	-0,23	-0,23
<b>W<sub>ukupno</sub></b>	-1,15	-1,15	-1,15

$$W_G = (-1,15 * 1,3) + (1,3 - 1,255) * (-5,5) * (-1,15) = -1,55 \text{ kN}$$

$$W_{H1} = (-1,15 * 2,51) = -2,89 \text{ kN}$$

$$W_{H2} = (-1,15 * 1,255) = -1,44 \text{ kN}$$



Napomena:

Zona F nije korištena jer glavni nosač upada u raster, promatramo samo G zonu.

### 3. STATIČKI PRORAČUN

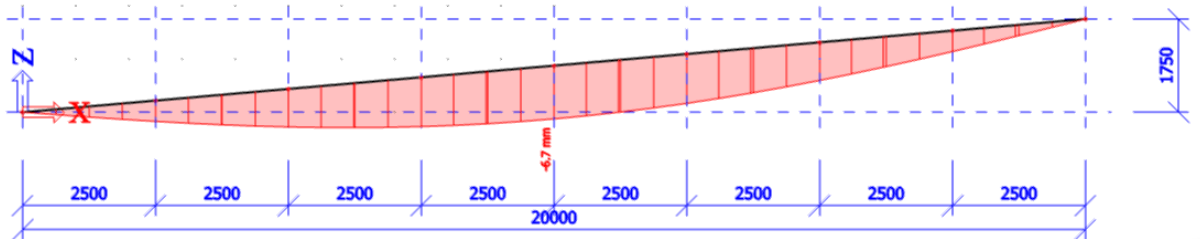
#### 3.1 GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (KONTROLA PROGIBA)

Dimenzije grede:  $b/h = 22/120 \text{ cm}$  ;  $L = 2000 \text{ cm}$

$U_{\text{fin}} = \frac{L}{250} (80 \text{ mm})$  – maksimalni dopušten progib LLD

$k_{\text{def}} = 0,6$

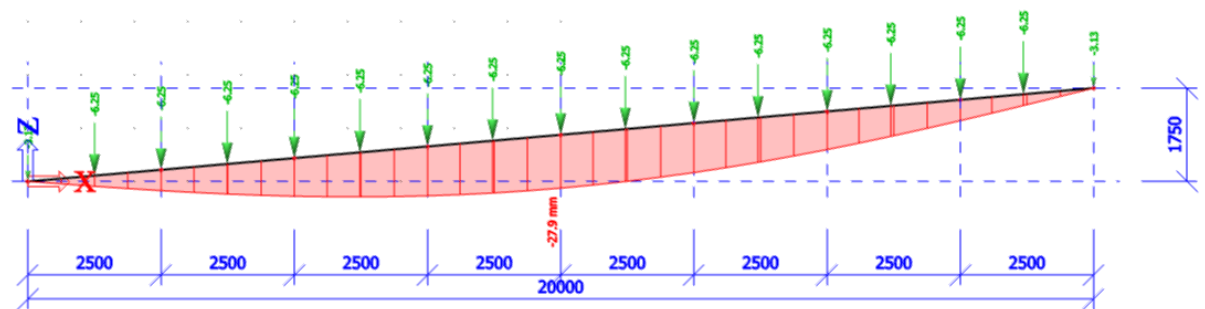
##### 3.1.1 VLASTITA TEŽINA



$U_{\text{inst,Go}} = 6,7 \text{ mm}$

$U_{\text{fin,Go}} = U_{\text{inst,Go}} * (1 + k_{\text{def}}) = 10,72 \text{ mm}$

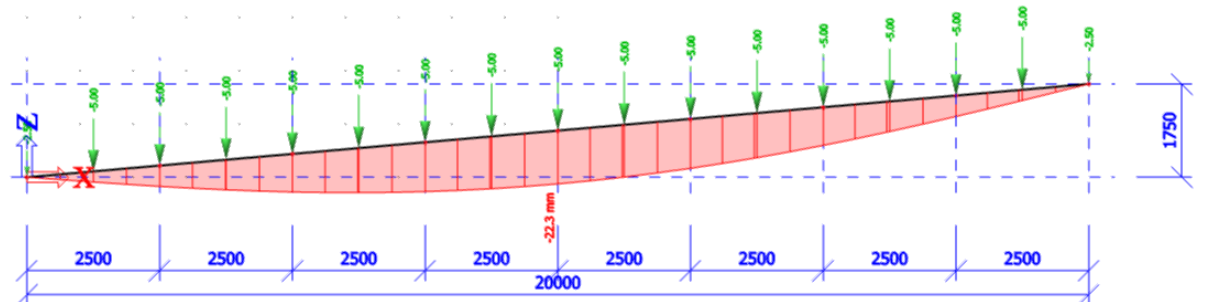
##### 3.1.2 DODATNO STALNO OPTEREĆENJE



$U_{\text{inst,G}} = 27,9 \text{ mm}$

$U_{\text{fin,G}} = U_{\text{inst,G}} * (1 + k_{\text{def}}) = 44,64 \text{ mm}$

##### 3.1.3 SNIJEG

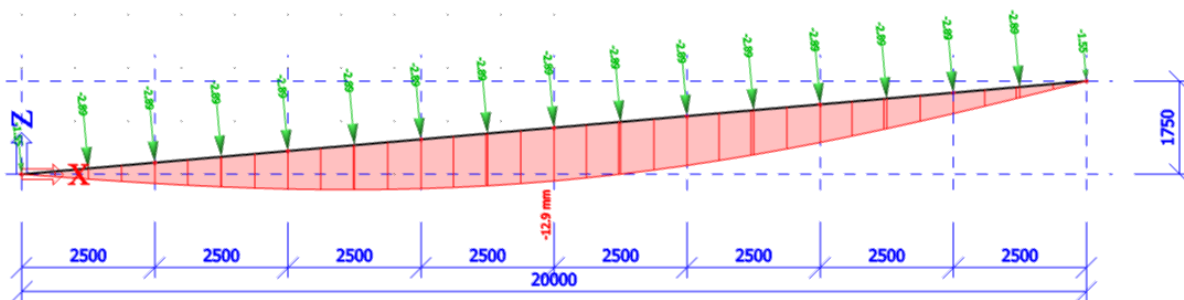


$U_{\text{inst,S}} = 22,3 \text{ mm}$

$U_{\text{fin,S}} = U_{\text{inst,S}} * (\psi_0 + \psi_2 * k_{\text{def}}) = 11,15 \text{ mm}$

Tablica:  $\psi_0 = 0,5$  ;  $\psi_2 = 0$

### 3.1.3 VJETAR (PRITISKAJUĆI)



$$U_{inst,W} = 12,9 \text{ mm}$$

$$U_{fin,W} = U_{inst,W} * (\psi_o + \psi_2 * k_{def}) = 7,74 \text{ mm}$$

Tablica:  $\psi_o = 0,6$  ;  $\psi_2 = 0$

### 3.1.4 UKUPNI PROGIB

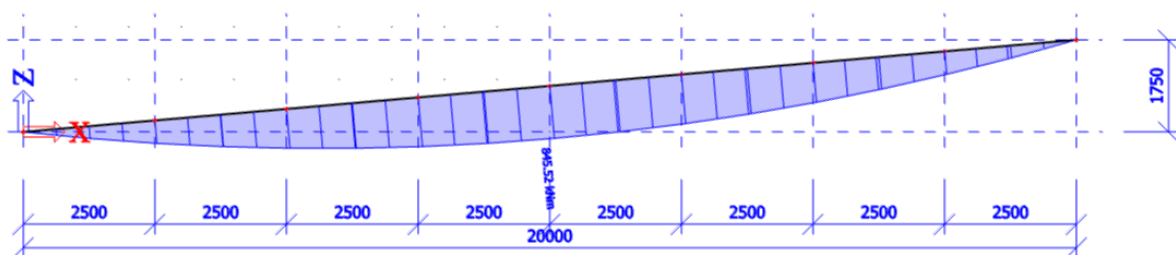
$$U_{fin} = U_{fin,Go} + U_{fin,G} + U_{fin,S} + U_{fin,W} = 74,25 \text{ mm}$$

$$U_{fin} < 80 \text{ mm}$$

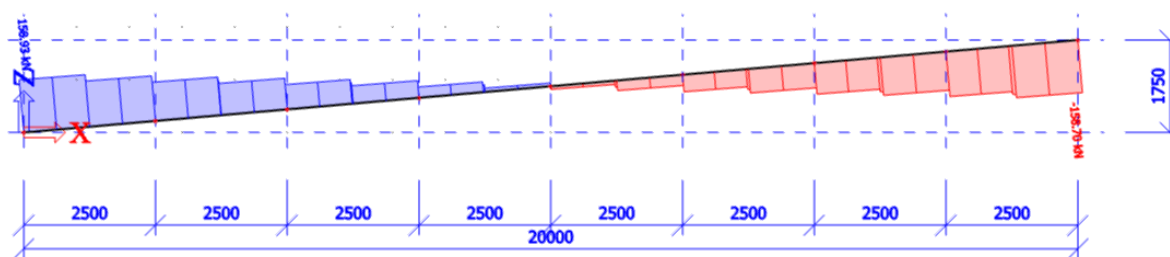
Sustav zadovoljava uvjete progiba.

## 4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KRITIČNU KOMBINACIJU [ 1,35 \* G + 1,35 ( S + Wp ) ]

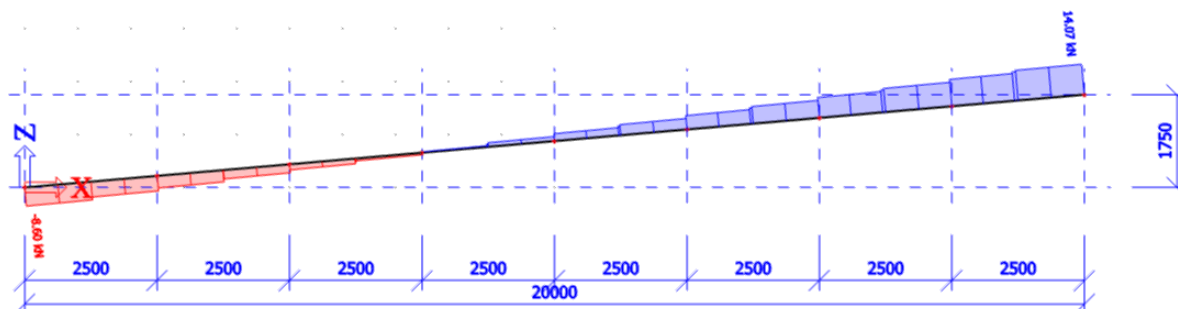
### MOMENT



### POPREČNE SILE



### UZDUŽNE SILE





## 5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA NOSIVE KONSTRUKCIJE

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti za GL28h:

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2 ; f_{t,0,k} = 22,3 \text{ N/mm}^2 ; f_{c,0,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{v,k} = 28 \text{ N/mm}^2 ; E_{o,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2 ; G_{mean} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{o,mean} = \frac{2}{3} \cdot 12600 = 8400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 10500 = 7000 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa I:  $k_{mod} = 0,9$  (kratkotrajno) ;  $0,7$  (dugotrajno) ;  $\gamma_M = 1,3$

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo i drvene materijale

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 19,39 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{22,3 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 15,44 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 19,39 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,3} = 19,39 \text{ N/mm}^2$$

### 5.1 GREDA

Poprečni presjek:  $b/h = 22/120 \text{ cm}$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 22 * 120 = 2640 \text{ cm}^2 ; A_{netto} = 0,8 * A = 2112 \text{ cm}^2$$
$$I_y = \frac{22 \cdot 120^3}{12} = 3168000 \text{ cm}^4 ; I_z = \frac{120 \cdot 22^3}{12} = 106480 \text{ cm}^4 ; W_y = \frac{22 \cdot 120^2}{6} = 52800 \text{ cm}^3$$

Opterećenja na element:

$$M = 845,52 \text{ kNm} \quad V = 158,93 \text{ kN} \quad N_t = 14,07 \text{ kN} \quad N_c = 8,6 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti:

→ Vlak paralelno sa vlakancima

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{netto}} = \frac{14,07 \cdot 10^3 \text{ N}}{2112 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 0,0067 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{0,0067}{15,44} = 0,00043 < 1$$

→ Tlak paralelno sa vlakancima

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{8,6 \cdot 10^3 \text{ N}}{2640 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 0,0326 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_{eff} = \frac{l}{\cos\alpha} = \frac{2 \cdot 2,5}{\cos 5^\circ} = 5,02 \text{ m} ; \quad \beta_c = 0,1 \text{ (za LLD)}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{eff}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{5,02 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{106480 \text{ cm}^4}{2640 \text{ cm}^2}}} = 79,04$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{79,04}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,45$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2]$$
$$= 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,45 - 0,3) + 1,45^2] = 1,609$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} ; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,609 + \sqrt{1,609^2 - 1,45^2}} ; 1,0 \right\}$$
$$= \min\{0,434 ; 1,0\} = 0,434$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,0326}{0,434 \cdot 19,39} = 0,00387 < 1$$

→ Savijanje

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{845,52 * 10^6 \text{ Nmm}}{52800 * 10^3 \text{ mm}^3} = 16,01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{502 \text{ cm} \cdot 120 \text{ cm}}{22^2 \text{ cm}^2} = 124,46 < 140 \Rightarrow k_{crit} = 1,0$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{16,01}{19,39} = 0,826 < 1$$

→ Posmik

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{158,93 * 10^3 \text{ N}}{2640 * 10^2 \text{ mm}^2} = 0,903 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,903 \text{ N/mm}^2}{19,39 \text{ N/mm}^2} = 0,0466 < 1$$

→ Dokaz nosivosti i stabilnosti

„Savijanje + Tlak“

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

$$\frac{16,01}{1,0 * 19,39} + \frac{6,09}{0,434 \cdot 19,39} = 0,8295 < 1$$

„Savijanje + Vlak“

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

$$\frac{16,01}{1,0 * 19,39} + \frac{0,0067}{0,434 \cdot 19,39} = 0,8261 < 1$$

## 5.2 PODROŽNICE

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$b/h = 20/22 \quad A = 440 \text{ cm}^2 \quad W_y = \frac{20 \cdot 20^2}{6} = 1613,33 \text{ cm}^3 \quad W_z = \frac{20 \cdot 20^2}{6} = 1466,67 \text{ cm}^3$$

Opterećenja na element:

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad ; \quad s = 0,4 \text{ kN/m}^2 \quad ; \quad w_p = 1,15 \text{ kN/m}^2 \\ a = 2,5 \text{ m (razmak sekundarnih nosača)}$$

$$q_{G,k} = g_k \cdot a = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 1,25 \text{ kN/m}$$

$$q_{Q,k,W} = w_p \cdot a = 1,15 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 2,875 \text{ kN/m}$$

$$q_{Q,k,S} = s \cdot a = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 1,0 \text{ kN/m}$$

Djelovanja oko glavnih osi:

$$\alpha = 5^\circ$$

$$q_{z,d} = 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \cos \alpha + 1,50 \cdot 0,9 \cdot (q_{Q,k,W} + q_{Q,k,S} \cdot \cos \alpha) = 6,907 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,d} = 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \sin \alpha + 1,50 \cdot 0,9 \cdot q_{Q,k,S} \cdot \sin \alpha = 0,265 \text{ kN/m}$$

Rezne sile:

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = 21,58 \text{ kNm} \quad M_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = 0,828 \text{ kNm}$$

$$V_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l}{2} = 17,27 \text{ kN} \quad V_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l}{2} = 0,663 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti:

→ Savijanje

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{21,58 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1613,33 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 13,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,828 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1466,67 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 0,5645 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

→ Posmik

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{17,27 \cdot 10^3 \text{ N}}{440 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 0,589 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,589 \text{ N/mm}^2}{19,39 \text{ N/mm}^2} = 0,0304 < 1$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,663 \cdot 10^3 \text{ N}}{440 \cdot 10^2 \text{ mm}^2} = 0,023 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,023 \text{ N/mm}^2}{19,39 \text{ N/mm}^2} = 0,0019 < 1$$

→ Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{(l_{eff} \cdot h)}{b^2} = \frac{500\text{cm} \cdot 22\text{cm}}{20^2 \text{ cm}^2} = 27,5 < 140 \Rightarrow k_m = 1,0$$

$$k_{red} \Rightarrow \text{pravokutni pp} \Rightarrow k_{red} = 0,7$$

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

$$\frac{13,38}{1,0 \cdot 19,39} + 0,7 \cdot \frac{0,5645}{19,39} = 0,71 < 1$$

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

$$\frac{0,5645}{1,0 \cdot 19,39} + 0,7 \cdot \frac{13,38}{19,39} = 0,51 < 1$$

## 6. STABILIZACIJA

Vrijednost poprečnog djelovanja stabilizacijskog veza, izazvana bočnim izvijanjem glavnog nosača:

$$k_l = \min \left\{ \sqrt{\frac{15}{l}} = \sqrt{\frac{15}{20}} = 0,866 \quad n = \frac{11}{2} = 5,5 \right.$$

$$N_d = (1 - k_{\text{crit}}) * \frac{M_y}{h}$$

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{l_{\text{eff}} \cdot h_1}{\pi \cdot b_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}} = \sqrt{\frac{2008 \cdot 120}{\pi \cdot 22^2}} \cdot \sqrt{\frac{28}{\sqrt{8400 \cdot 7000}}} = 0,195 < 0,75 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1$$

$$M_y = 936,03 \text{ kNm} \quad h = 120 \text{ cm}$$

$$N_d = (1 - 1) * \frac{M_y}{h} = 0$$

$$q_d = k_l \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l_{\text{eff}}} = 0,866 \cdot \frac{5 \cdot 0}{30 \cdot 20,8} = 0$$

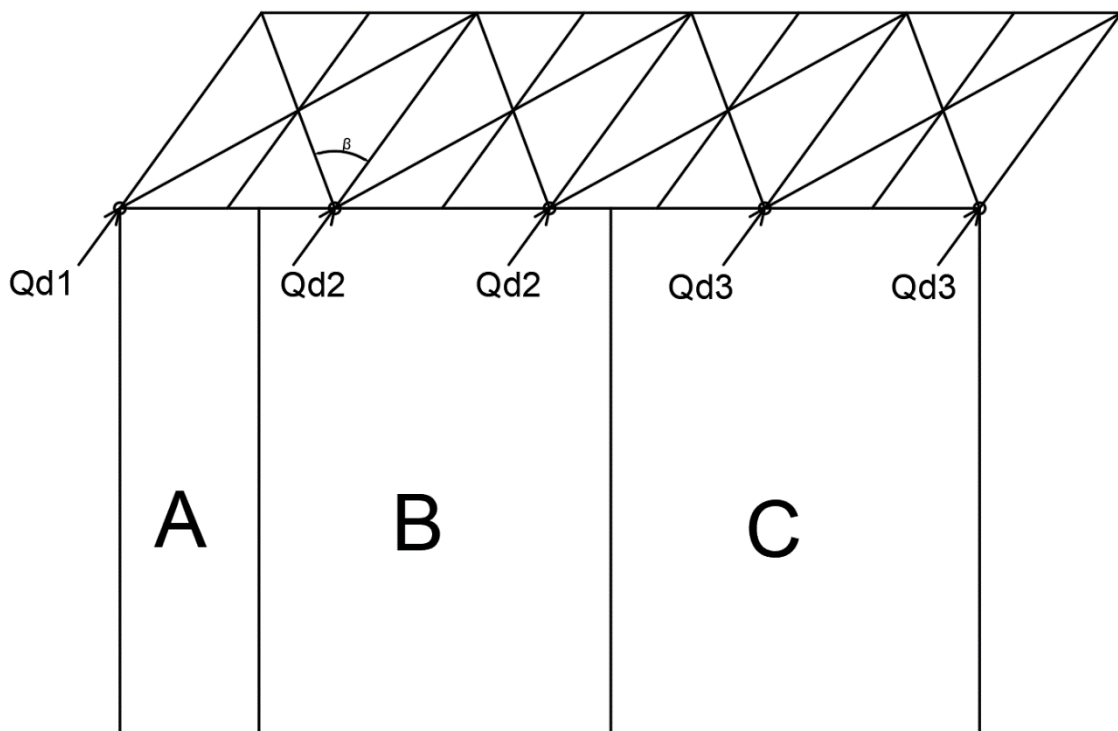
Izvijanje na jedan spreg:

$$N_{d,\text{mean}} = 7,61 \text{ kN} \quad k_c = 0,364$$

$$Q_B = N_{d,\text{mean}} \frac{1 - k_c}{80}$$

$$Q_B = 7,61 \frac{1 - 0,364}{80} = 0,0605 \text{ kN}$$

6.1 HORIZONTALNI VJETAR:



### ZONA A

H = 4,8 m      a = 2,5 m

$$q_{w,1,d} = w_{ukA} * \frac{H}{2} = 1,1 * \frac{4,8}{2} = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{TOT,d} = q_{w,1,d} + q_d = 2,64 + 0 = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{w1} = q_{TOT,d} \cdot a = 2,64 \cdot 2,5 = 6,6 \text{ kN}$$

$$Q_{d1} = Q_{w1} + Q_B = 6,6 + 0,0605 = 6,66 \text{ kN}$$

### ZONA B

H = 5,68 m      a = 2,5 m

$$q_{w,1,d} = w_{ukB} * \frac{H}{2} = 0,78 * \frac{5,68}{2} = 2,21 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{TOT,d} = q_{w,1,d} + q_d = 2,21 + 0 = 2,21 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{w1} = q_{TOT,d} \cdot a = 2,21 \cdot 2,5 = 5,59 \text{ kN}$$

$$Q_{d1} = Q_{w1} + Q_B = 5,53 + 0,0605 = 5,59 \text{ kN}$$

### ZONA C

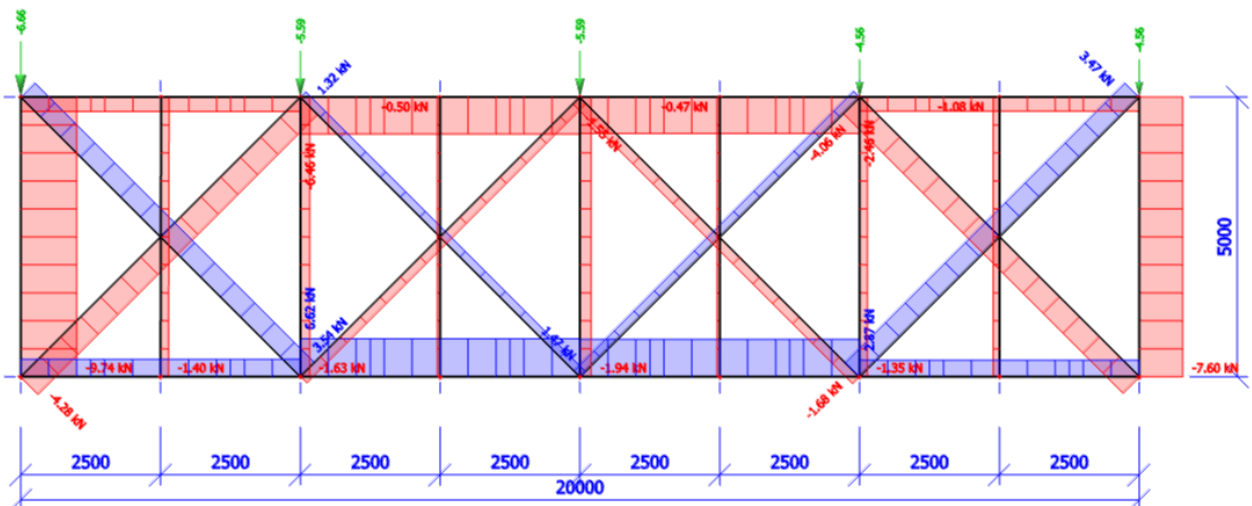
H = 6,55 m      a = 2,5 m

$$q_{w,1,d} = w_{ukC} * \frac{H}{2} = 0,55 * \frac{6,55}{2} = 1,8 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{TOT,d} = q_{w,1,d} + q_d = 1,8 + 0 = 1,8 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{w1} = q_{TOT,d} \cdot a = 1,8 \cdot 2,5 = 4,5 \text{ kN}$$

$$Q_{d1} = Q_{w1} + Q_B = 4,5 + 0,0605 = 4,56 \text{ kN}$$



## 6.2 SILE:

### Greda

$$N_{O_3(U_3)d} = \frac{q_{TOT,d} * leff^2}{8 * n} = \frac{2,64 * 20,08^2}{8 * 5} = 26,61 \text{ kN}$$

### Podrožnice

$$N_{V_1d} = \frac{q_{TOT,d} * leff}{2} = \frac{2,64 * 20,08}{2} = 26,51 \text{ kN}$$

### Spreg

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{2500}{5000} \rightarrow \beta = 26,57^\circ$$

$$N_{D_1d} = \frac{N_{V_1d} * \frac{Qd1}{2}}{\cos\beta} = \frac{26,51 * 3,33}{\cos\beta} = 25,92 \text{ kN}$$

## 6.3 DOKAZ STABILIZACIJE:

### Greda

$$b/h = 22/120 \text{ cm} \quad \bar{h}_1 = \frac{h}{6} = \frac{120}{6} = 20 \text{ cm} \quad \bar{A} = b_1 \cdot \bar{h}_1 = 22 \cdot 20 = 440 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d, \text{stabilizacija}} = \frac{N_{O_3(U_3)d}}{\bar{A}} = \frac{26,61 \cdot 10^3}{440 \cdot 10^2} = 0,605 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,y} = \frac{l}{\cos\alpha} = \frac{5}{\cos 5^\circ} = 5,02 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{5,02 * 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{3168000 \text{ cm}^4}{2640 \text{ cm}^2}}} = 14,49$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{14,49}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8400,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,266$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] \\ = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,266 - 0,3) + 0,266^2] = 0,534$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{0,534 + \sqrt{0,534^2 - 0,266^2}}; 1,0 \right\} \\ = \min\{1,003; 1,0\} = 1$$



Koeficijent izvijanja za os z:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos\alpha} = \frac{2 \cdot 2,5}{\cos 5^\circ} = 5,02 \text{ m} ; \quad \beta_c = 0,1 \text{ (za LLD)}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{eff}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{5,02 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{106480 \text{ cm}^4}{2640 \text{ cm}^2}}} = 79,04$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{79,04}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,45$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2]$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,45 - 0,3) + 1,45^2] = 1,609$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} ; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,609 + \sqrt{1,609^2 - 1,45^2}} ; 1,0 \right\}$$

$$= \min\{0,434 ; 1,0\} = 0,434$$

Dokaz nosivosti:

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

$$\frac{0,605}{1 \cdot 19,39} + \frac{16,01}{1,0 \cdot 19,39} + \frac{0,0326}{0,434 \cdot 19,39} = 0,86 < 1$$

## Podrožnice

$$b/h = 20/22 \quad A = 440 \text{ cm}^2 \quad I_y = \frac{20 \cdot 22^3}{12} = 17746,67 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{c,0,V_1,d,\text{stabilizacija}} = \frac{N_{V_1,d}}{A} = \frac{26,51 \cdot 10^3}{440 \cdot 10^2} = 0,603 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izvijanja za os y:

$$l_{ef,z} = \frac{l}{\cos \alpha} = \frac{5}{\cos 5^\circ} = 5,02 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{5,02 \cdot 100 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{17746,67 \text{ cm}^4}{440 \text{ cm}^2}}} = 79,04$$

$$\lambda_{rel,c,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{79,04}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{8400,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 1,45$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2]$$
$$= 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,45 - 0,3) + 1,45^2] = 1,609$$

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{1}{1,609 + \sqrt{1,609^2 - 1,45^2}}; 1,0 \right\}$$
$$= \min\{0,434; 1,0\} = 0,434$$

Dokaz nosivosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,V_1,d, stabilizacija}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} < 1,0$$
$$\frac{0,603}{0,434 \cdot 19,39} + \frac{16,19}{1,0 \cdot 19,39} + 0,7 \cdot \frac{0,621}{20,77} = 0,92 < 1,0$$
$$\frac{\sigma_{c,0,V_1,d, stabilizacija}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} < 1,0$$
$$\frac{0,603}{0,434 \cdot 19,39} + 0,7 \cdot \frac{16,19}{1,0 \cdot 19,39} + \frac{0,621}{20,77} = 0,686 < 1,0$$

Spreg

$$\emptyset 20 \quad A_{netto} = 2,2 \text{ cm}^2$$
$$\sigma_{D_1d} = \frac{N_{D_1d}}{A_{netto}} = \frac{25,92 \cdot 10^3}{2,2 \cdot 10^2} = 117,82 \text{ N/mm}^2$$

S235

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{235}{1,1} = 213,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{D_1d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{117,82}{213,6} = 0,55 < 1,0$$

## 7. SPOJEVI

### 7.1 SPOJ GREDA – STUP

Materijal:

LLD 22/120 cm ; GI28h UK I ;  $\rho = 425 \text{ kg/m}^3$

Podložna ploča  $t = 8 \text{ mm}$

Vijak M20 ; Kvaliteta vijka (klasa čvrstoće) 5.6

Karakteristična vrijednost vlačne čvrstoće  $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$

Karakteristična vrijednost granice popuštanja  $f_{y,k} = 400 \text{ N/mm}^2$

$k_{\text{mod}} = 0,90$  ;  $\gamma_M = 1,25$  (drvo) ;  $\gamma_M = 1,1$  (vijci)

Sile u elementima koje trebaju prenijeti spajala:

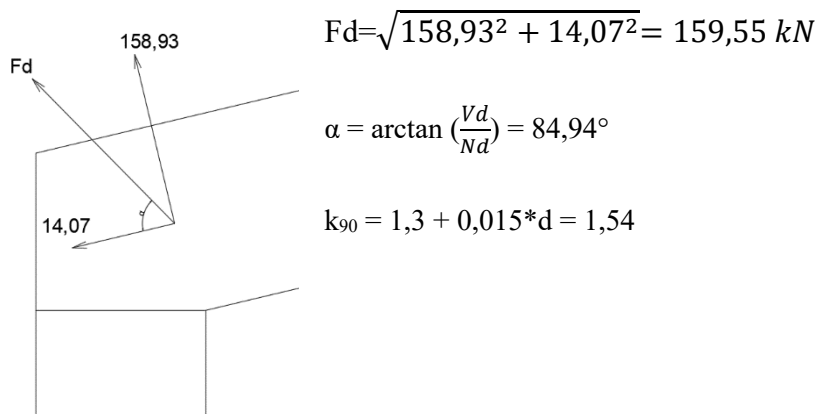
$V = 158,93 \text{ kN}$  (Vlak) ;  $N = 14,07 \text{ kN}$  (Tlak)

Vrijednost momenta popuštanja:

Karakteristična  $M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 500 * 20^{2,6} = 362,1 \text{ Nm}$

Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe

$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 20) * 425 = 27,88 \text{ N/mm}^2$



$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha * \cos^2 \alpha} = 23,46 \text{ N/mm}^2$

### Nosivost spajala

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 * f_{h,2,k} * t_2 * d = 0,5 * 23,46 * 220 * 20 = 41,29 \text{ kN/vijku} \\ 1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} = 1,15 * \sqrt{2 * 362,1 * 23460000 * 0,02} = 21,2 \text{ kN/vijku} \end{array} \right.$$

$R_d = 21,2 \text{ kN/vijku} \rightarrow$  Dvorezni spoj

### Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{Fd}{R_d} = \frac{159,55}{21,2} = 7,5 \rightarrow 8 \text{ vijaka}$$

Dokaz:  $\frac{Fd}{R_d * n_{rezova} * n_{vijaka}} = \frac{159,55}{11,15 * 2 * 4} = 0,94 < 1$  *Zadovoljava*

### Proračunski broj vijaka:

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{F_d}{3 \cdot F_{Rd}} ; n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} = \min \left\{ 4,77 ; 16^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{65,41}{13 * 16}} \right\} = 4,77$$

Dokaz:  $\frac{Fd}{R_{dTOT}} = \frac{Fd}{R_d * n_{ef} * n_{rezova}} = \frac{159,55}{21,2 * 4,77 * 2 * 2} = 0,39 < 1$  *Zadovoljava*

### Najmanji razmaci vijaka i udaljenosti od rubova:

Paralelno sa vlakancima:  $a_{1,req} = (3 + 2 * \cos \alpha) * d = (3 + 2 * \cos 84,94) * 20 = 63,53$

Okomito na vlakanca:  $a_{2,req} = 3 * d = 3 * 16 = 48 \text{ mm}$

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{1,t} = \min(7d; 80 \text{ mm}) = \min(7 * 16; 80) = \min(112; 80) = 80 \text{ mm}$$

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

$$a_{2,c} = 3 * d = 3 * 16 = 48 \text{ mm}$$

4 VIJAKA U REDU, 2 REDA.

## 7.2 SPOJ GREDA – PODROŽNICA

### Materijal:

LLD 20/22 cm ; G128h UK I ;  $\rho = 425 \text{ kg/m}^3$

Podložna ploča  $t = 8 \text{ mm}$

Vijak M8 ; Kvaliteta vijka (klasa čvrstoće) 4.8

Karakteristična vrijednost vlačne čvrstoće  $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$

Karakteristična vrijednost granice popuštanja  $f_{y,k} = 400 \text{ N/mm}^2$

$k_{\text{mod}} = 0,90$  ;  $\gamma_M = 1,25$  (drvo) ;  $\gamma_M = 1,1$  (vijci)

### Sile u elementima koje trebaju prenijeti spajala:

$V = 2,02 \text{ kN}$  (Vlak)

### Vrijednost momenta popuštanja:

Karakteristična  $M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 400 * 8^{2,6} = 26,74 \text{ Nm}$

### Karakteristična vrijednost tlačne čvrstoće drva po plaštu rupe

$f_{h,90,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 8) * 425 = 32,06 \text{ N/mm}^2$

### Nosivost spajala

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,90,k} * t_1 * d = 32,06 * 200 * 8 = 51,3 \text{ kN/vijku} \\ 2,3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,90,k} * d} = 2,3 * \sqrt{26,74 * 32060000 * 0,008} = 6,02 \text{ kN/vijku} \end{array} \right.$$

$R_d = 6,02 \text{ kN/vijku} \rightarrow$  Jednoredni spoj

### Potreban broj vijaka:

$$n = \frac{Fd}{R_d} = \frac{2,02}{6,02} = 0,33 \rightarrow 2 \text{ vijka}$$

Dokaz :  $\frac{Fd}{R_d * n_{\text{rezova}} * n_{\text{vijaka}}} = \frac{2,02}{6,02 * 1 * 1} = 0,33 < 1$  Zadovoljava

Najmanji razmaci vijaka i udaljenosti od rubova:

Paralelno sa vlakancima:  $a_{1,req} = (3 + 2 * \cos \alpha) * d = (3 + 2 * \cos 0) * 8 = 40 \text{ mm}$

Okomito na vlakanca:  $a_{2,req} = 3 * d = 3 * 8 = 24 \text{ mm}$

Od opterećenog kraja (paralelno s vlakancima):

$$a_{1,t} = \min(7d; 80 \text{ mm}) = \min(7 * 8; 80) = \min(56; 80) = 56 \text{ mm}$$

Od neopterećenog ruba (okomito na vlakanca):

$$a_{2,c} = 3 * d = 3 * 8 = 24 \text{ mm}$$

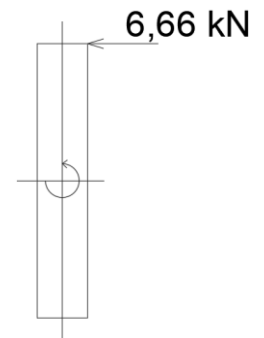
1 VIJAK U REDU, 2 REDA

### 7.3 BOČNI SPREG

Proračunska vrijednost momenta prevrtanja (Td):

$$T_d = M_d \cdot \left[ \frac{1}{80} - \frac{1}{60} \cdot \frac{e}{h} \cdot (1 - k_m) \right]$$

$M_d$  - proračunska vrijednost momenta savijanja  
 $e$  - udaljenost od osi nosača do pridržanja  
 $h$  - visina poprečnog presjeka nosača  
 $k_m$  - koeficijent izbočavanja nepridrzanog nosača



$$M_d = 6,66 * 0,6 = 3,996 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef,y} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}}}} = \sqrt{\frac{20,8 * 10^3 * 1200}{\pi * 220^2}} * \sqrt{\frac{28}{\sqrt{8400 * 7000}}} = 0,77$$

$$k_m = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad k_m = 1,56 - (0,75 * 0,77) = 0,9825$$

$$T_d = 3,996 * \left( \frac{1}{80} - \frac{1}{60} * \frac{0,6}{1,2} * (1 - 0,9825) \right) = 0,05 \text{ kNm}$$

Odabrani spreg:

CSH 42,4/2,6  $\rightarrow M_{el,Rd} = 0,72 \text{ kNm}$  ;  $M_{pl,Rd} = 0,97 \text{ kNm}$  ;  $D = 26,9 \text{ mm}$  ;  $t = 2,6 \text{ mm}$

$A = 325 \text{ mm}^2$  ;  $I_{min} = 0,06464 * 10^6 \text{ mm}^4$  ;  $l = 4930 \text{ mm}$

(izvor: eurocodeapplied.com)

Vitkost

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = 14,1 \text{ mm} \quad \lambda = \frac{li}{i_{min}} = \frac{2465}{14,1} = 174,79$$

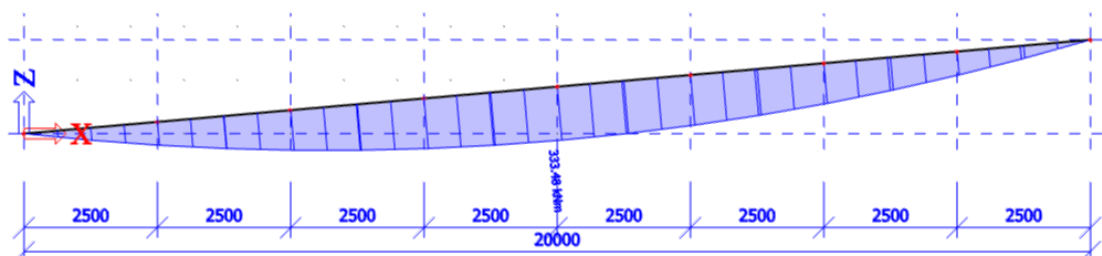
$$l_i = l/2 = 2465 \text{ mm}$$

## 8. VATROOTPORNOST

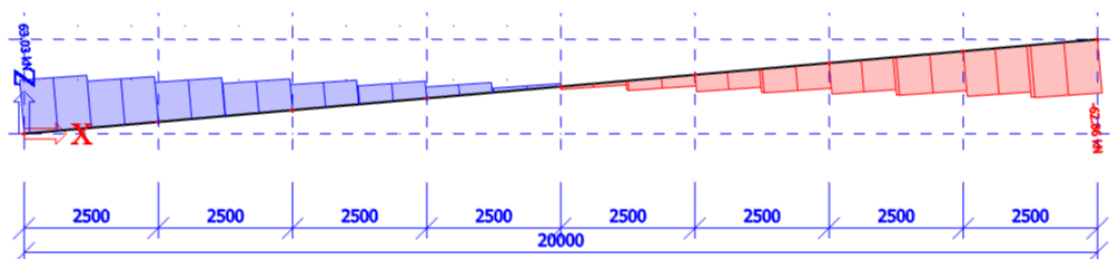
Izvodi se proračun nosivosti uslijed djelovanja požara u trajanju od 30 minuta. Spregovi su zaštićeni protupožarnim premazima.

Dijagrami reznih sila kombinacije  $[1 \cdot G + 0,2 \cdot W_p]$  :

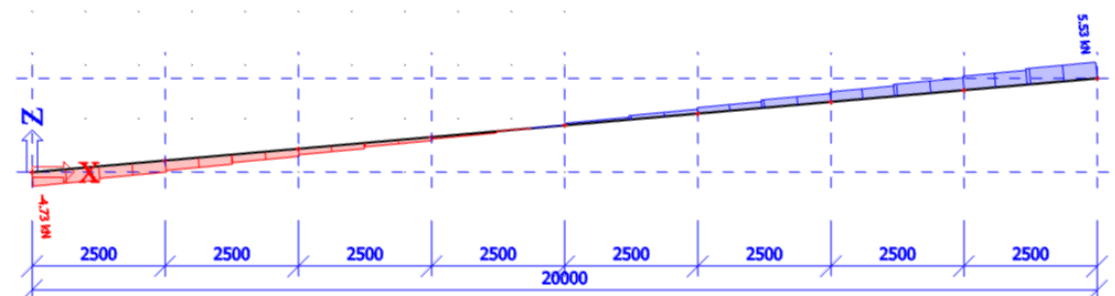
### MOMENT



### POPREČNE SILE



### UZDUŽNE SILE



Tražena klasa drveta: F30  $\rightarrow$   $t_f = 30$  min

Proračunske brzine pougljenja ( $\beta_n$  i  $\beta_o$ ), koje ovise o vrsti i gustoći drveta:

LLD  $\rho = 425 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$   $\beta_o = 0,65 \text{ mm/min}$



## 8.1 GREDA

$$M_{d,fi} = 333,48 \text{ kNm} \quad N_{d,fi} = 5,53 \text{ kN} \quad ; \quad b/h = 22/120 \text{ cm}$$

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 22 - 2 \cdot 2,1 = 17,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 120 - 2 \cdot 2,1 = 115,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg:

$$u_r = 2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 2 \cdot 17,8 + 2 \cdot 115,8 = 267,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 17,8 \cdot 115,8 = 2055,9 \text{ cm}^2$$

Reducirani moment otpora:

$$W_{y,r} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{17,8 \cdot 115,8^2}{6} = 39781,93 \text{ cm}^3$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{N_{c,o,d,fi}}{A_r} = \frac{5,53 \cdot 10^3}{2055,9 \cdot 10^2} = 0,027 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,r}} = \frac{333,48 \cdot 10^6}{39781,93 \cdot 10^3} = 8,38 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad f_{t,0,k} = 22,3 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad f_{c,0,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 28 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad E_{o,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad G_{mean} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{o,mean} = \frac{2}{3} \cdot 12600 = 8400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 10500 = 7000 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenata modifikacije:

$k_{fi} = 1,15$  prijelaz na 20% fraktilu za LLD

$\gamma_{m,fi} = 1,0$  preporučena vrijednost parcijalnog faktora sigurnosti tijekom požara

Savojna čvrstoća:  $k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{267,2 * 10^{-2}}{2055,9 * 10^{-4}} = 0,935$

Tlačna čvrstoća:  $k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{267,2 * 10^{-2}}{2055,9 * 10^{-4}} = 0,896$

Vlačna čvrstoća i za E i G module:

$$k_{mod,t,fi} = k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} * \frac{267,2 * 10^{-2}}{2055,9 * 10^{-4}} = 0,961$$

Vrijednosti:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,m,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,935 * 1,15 * \frac{28}{1} = 30,11 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,c,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,896 * 1,15 * \frac{28}{1} = 27,59 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,E,fi} * k_{fi} * \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,961 * 1,15 * \frac{8400}{1} = 9283,26 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,G,fi} * k_{fi} * \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,961 * 1,15 * \frac{\frac{2}{3} * 7000}{1} = 5157,37 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja oko osi:  $k_{crit} = 1,0$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} = \frac{0,027}{0,434 * 27,59} + \frac{8,38}{1 * 30,11} = 0,28 < 1$$

## 8.2 PODROŽNICE

$$\begin{aligned}M_{y,fi} &= 21,58 \text{ kNm} \quad ; \quad M_{z,fi} = 0,828 \text{ kNm} \\V_{y,fi} &= 17,27 \text{ kN} \quad ; \quad V_{z,fi} = 0,663 \text{ kN} \\N_{d,fi} &= 8,83 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$b/h = 20/22 \text{ cm}$$

Gubitak presjeka:

$$d_{fi} = t_f \cdot \beta_n = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm} = 2,1 \text{ cm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{fi} = 20 - 2 \cdot 2,1 = 15,8 \text{ cm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{fi} = 22 - 2 \cdot 2,1 = 17,8 \text{ cm}$$

Nagoreni opseg:

$$u_r = 2 \cdot b_{fi} + 2 \cdot h_{fi} = 2 \cdot 15,8 + 2 \cdot 17,8 = 67,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog presjeka:

$$A_r = b_{fi} \cdot h_{fi} = 15,8 \cdot 17,8 = 281,24 \text{ cm}^2$$

Reducirani moment otpora:

$$W_{y,r} = W_{z,r} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^2}{6} = \frac{15,8 \cdot 17,8^2}{6} = 834,35 \text{ cm}^3$$

Proračun naprezanja nosača:

$$\sigma_{c,o,d,fi} = \frac{N_{c,o,d,fi}}{A_r} = \frac{8,83 \cdot 10^3}{281,24 \cdot 10^2} = 0,314 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,r}} = \frac{21,58 \cdot 10^6}{834,35 \cdot 10^3} = 25,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d,fi} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,r}} = \frac{0,828 \cdot 10^6}{834,35 \cdot 10^3} = 0,99 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad f_{t,0,k} = 22,3 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad f_{c,0,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 28 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad E_{o,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad G_{mean} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot E_{o,mean} = \frac{2}{3} \cdot 12600 = 8400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = \frac{2}{3} \cdot G_{mean} = \frac{2}{3} \cdot 10500 = 7000 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti uz vrijednost koeficijenata modifikacije:

$k_{fi} = 1,15$  prijelaz na 20% fraktilu za LLD

$\gamma_{m,fi} = 1,0$  preporučena vrijednost parcijalnog faktora sigurnosti tijekom požara

Savojna čvrstoća:  $k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{67,2 * 10^{-2}}{281,24 * 10^{-4}} = 0,881$

Tlačna čvrstoća:  $k_{mod,c,fi} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{67,2 * 10^{-2}}{281,24 * 10^{-4}} = 0,809$

Vlačna čvrstoća i za E i G module:

$$k_{mod,t,fi} = k_{mod,E,fi} = k_{mod,G,fi} = 1 - \frac{1}{330} * \frac{u_r}{A_r} = 1 - \frac{1}{330} * \frac{67,2 * 10^{-2}}{281,24 * 10^{-4}} = 0,928$$

Vrijednosti:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,m,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,881 * 1,15 * \frac{28}{1} = 28,37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,c,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{m,fi}} = 0,809 * 1,15 * \frac{28}{1} = 26,05 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,E,fi} * k_{fi} * \frac{E_{0,05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,928 * 1,15 * \frac{8400}{1} = 8964,48 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,G,fi} * k_{fi} * \frac{\frac{2}{3} G_{05}}{\gamma_{m,fi}} = 0,928 * 1,15 * \frac{\frac{2}{3} * 7000}{1} = 4980,27 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent redukcije dvoosnog savijanja za pravokutne poprečne presjeke:  $k_{red} = 0,9$  ;  $k_{crit} = 1,0$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{crit} * f_{m,d,fi}} + k_{red} * \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,z,d,fi}} + \frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c * f_{c,0,d,fi}} = \frac{25,86}{1 * 28,37} + 0,9 * \frac{0,99}{28,37} + \frac{0,314}{0,434 * 26,05} = 0,97 < 1$$

## 9. VATROOTPORNOST SPOJEVA

### 9.1 VATROOTPORNOST SPOJA GREDA – STUP

#### Materijal:

LLD 22/120 cm ; G128h UK I ;  $\rho = 425 \text{ kg/m}^3$

Podložna ploča  $t = 8 \text{ mm}$

Vijak M20 ; Kvaliteta vijka (klasa čvrstoće) 5.6 → 8 komada

$k_{\text{mod}} = 0,90$  ;  $\gamma_M = 1,25$  (drvo) ;  $\gamma_{M,1} = 1,1$  (vijci)

#### Djelovanje:

Kritična kombinacija II:  $V_d = 158,93 \text{ kN}$

#### Proračunska vrijednost vlačne sile:

$$F_{t,d} = \frac{Fd \cdot t}{2 \cdot n \cdot a} = \frac{158,93 \cdot 100}{2 \cdot 8 \cdot 100} = 9,93 \text{ kN}$$

#### Karakteristična vrijednost nosivosti:

$$R_k = R_d \cdot \frac{\gamma_m}{k_{\text{mod}}} = 21,2 \cdot \frac{1,1}{0,9} = 25,91 \text{ kN/vijku}$$

#### Proračunska nosivost uslijed požara:

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left( \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{\text{mod}} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_m} \right) = 13,09 \text{ min}$$

$k$  – parametar (TABLICA) = 0,065

$\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji = 0,6

$\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi = 1,0

$k_{\text{mod}}$  – faktor izmjene = 0,9

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj = 1,1

$k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom = 1,15

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru = 1,0

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}} = e^{-0,065 \cdot 13,09} = 0,427$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_k \cdot k_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 0,427 \cdot \frac{25,91 \cdot 1,15}{1} = 12,72 \text{ kN}$$

#### Dokaz:

$$\frac{F_{t,d}}{R_{d,fi} \cdot n} = \frac{9,93}{12,72 \cdot 8} = 0,0975 < 1 \quad \text{Zadovoljava}$$

## 9.2 VATROOTPORNOST SPOJA PODROŽNICA – STUP

### Materijal:

LLD 20/22 cm ; G128h UK I ;  $\rho = 425 \text{ kg/m}^3$

Podložna ploča  $t = 8 \text{ mm}$

Vijak M8 ; Kvaliteta vijka (klasa čvrstoće) 4.8  $\rightarrow$  2 komada

$k_{\text{mod}} = 0,90$  ;  $\gamma_M = 1,25$  (drvo) ;  $\gamma_M = 1,1$  (vijci)

### Djelovanje:

Kritična kombinacija:  $V_d = 2,02 \text{ kN}$

Proračunska vrijednost vlačne sile:

$$F_{t,d} = \frac{F_d * t}{2 * n * a} = \frac{2,02 * 100}{2 * 2 * 100} = 0,505 \text{ kN}$$

Karakteristična vrijednost nosivosti:

$$R_k = R_d * \frac{\gamma_M}{k_{\text{mod}}} = 6,02 * \frac{1,1}{0,9} = 7,36 \text{ kN/vijku}$$

Proračunska nosivost uslijed požara:

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} * \ln\left(\frac{\eta_{fi} * \eta_0 * k_{\text{mod}} * \gamma_{M,fi}}{k_{fi} * \gamma_M}\right) = 10,64 \text{ min}$$

$k$  – parametar (TABLICA) = 0,08

$\eta_{fi}$  – faktor smanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji = 0,6

$\eta_0$  – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi = 1,0

$k_{\text{mod}}$  – faktor izmjene = 0,9

$\gamma_M$  – parcijalni koeficijent za spoj = 1,1

$k_{fi}$  – vrijednost u skladu s točkom = 1,15

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo u požaru = 1,0

$$\eta = e^{-k * t_{d,fi}} = e^{-0,08 * 10,64} = 0,427$$

$$R_{d,fi} = \eta * \frac{R_k * k_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 0,427 * \frac{7,36 * 1,15}{1} = 3,61 \text{ kN}$$

Dokaz:

$$\frac{F_{t,d}}{R_{d,fi} * n} = \frac{0,505}{3,61 * 2} = 0,0699 < 1 \quad \text{Zadovoljava}$$

## **10. NACRTI**

10.1 GENERALNI PLAN POZICIJA

10.2 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

10.3 DETALJ SPOJA STUP - GREDA

10.4 DETALJ SPOJA PODROŽNICA - GREDA

## **11. LITERATURA**

1. pred. Neno Torić, izv. prof. dr. sc, Predavanja iz predmeta Drvenih konstrukcija, 2021. (<http://cigla.gradst.hr/moodle26/mod/folder/view.php?id=3410>)
2. pred. Neno Torić, izv. prof. dr. sc; Marko Goreta mag. ing.aedif., Vježbe iz predmeta Drvenih konstrukcija, 2021. (<http://cigla.gradst.hr/moodle26/mod/folder/view.php?id=3410>)
3. Norma HRN EN 1995-1-1, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade
4. Norma HRN EN 1995-1-2, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-2: Proračun konstrukcija na djelovanje požara
5. [www.rothoblaas.com](http://www.rothoblaas.com)
6. A. Bjelanović, V. Rajčić: DRVENE KONSTRUKCIJE PREMA EUROPSKIM NORMAMA
7. Ivana Barić, Tihomir Štefić, Stjepan Takač: PRORAČUN PROTUPOŽARNE OTPORNOSTI DRVENIH KONSTRUKCIJA PREMA EURONORMI