

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: **2025-02-22**



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:

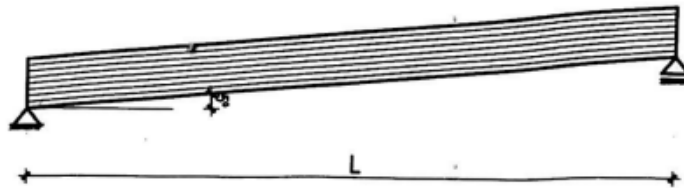
Wooden structure, structural elements, dimensioning, joints, drawings, fire resistance



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

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

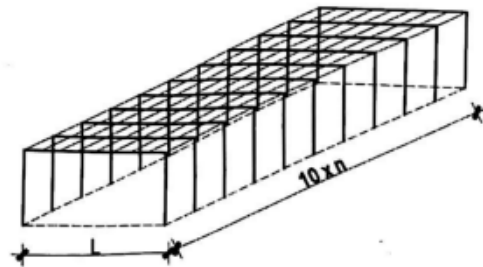
Potrebno je dimenzionirati krovni nosivi sustav prema slici ispod (analiza opterećenja, statički proračun i dimenzioniranje glavnih i sekundarnih nosača, dimenzioniranje detalja nacrti).



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

<u>1. TEHNIČKI OPIS</u>	1
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
<u>2. ANALIZA OPTEREĆENJA</u>	4
2.1. STALNO OPTEREĆENJE	4
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	4
<u>3. STATIČKI PRORAČUN</u>	8
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
<u>4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KRITIČNU KOMBINACIJU</u>	9
<u>5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA NOSIVE KONSTRUKCIJE</u>	10
5.1 GREDA	10
5.2 PODROŽNICE	13
<u>6. STABILIZACIJA</u>	15
6.1 HORIZONTALNI VJETAR	15
6.2 SILE:	17
6.3 DOKAZ STABILIZACIJE	17
<u>7. SPOJEVI</u>	21
7.1 SPOJ GREDA – STUP	21
7.2 SPOJ GREDA – PODROŽNICA	23
7.3 BOČNI SPREG	24
<u>8. VATROOTPORNOST</u>	25
8.1 GREDA	26
8.2 PODROŽNICE	28

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

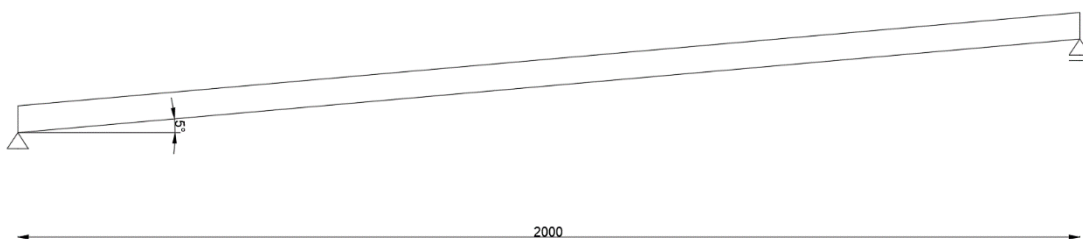
1. TEHNIČKI OPIS

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° 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.

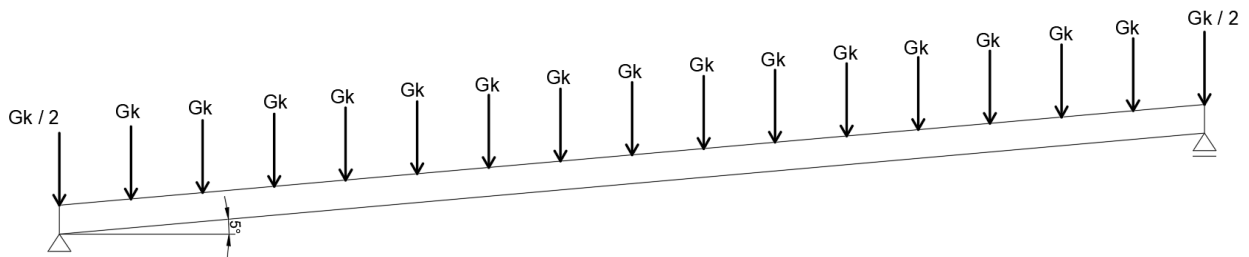
2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. STALNO OPTEREĆENJE

Vlastita težina (gk) = Sendvič paneli (0,25 kN/m²) +

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

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



2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

→ Snijeg

Opterećenje snijegom po tlocrtnoj površini krova prema EC 5:

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

μ_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/m²)

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

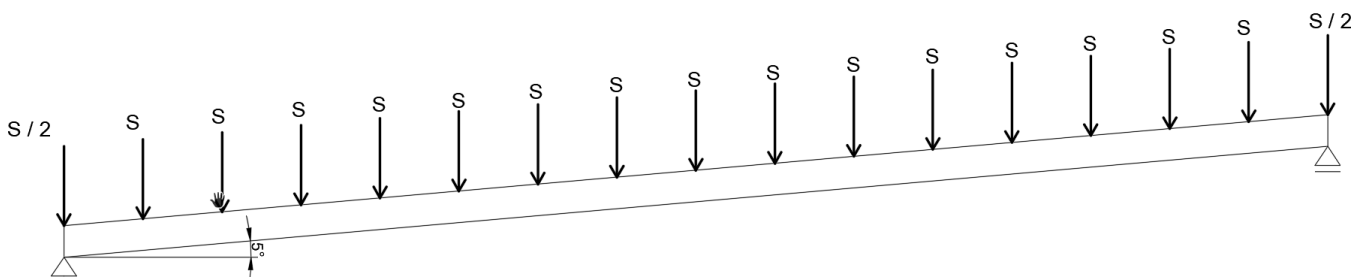
c_e - koeficijent izloženosti ; c_t - toplinski koeficijent

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

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

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

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



→ Vjetar

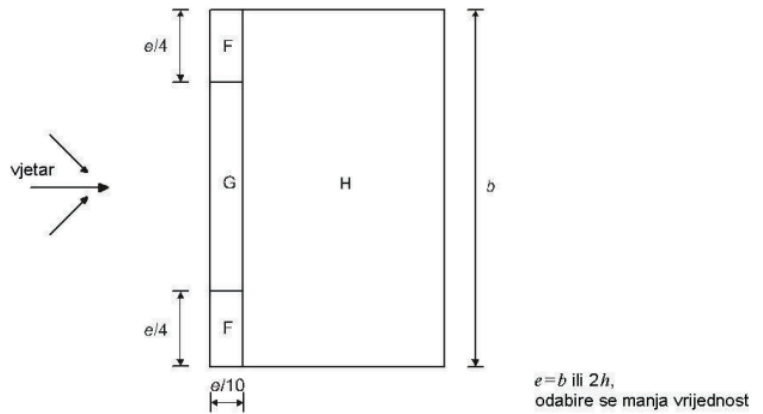
ZONE DJELOVANJA VJETRA (RAVNI KROV)

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 α	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 $q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$

ρ - 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

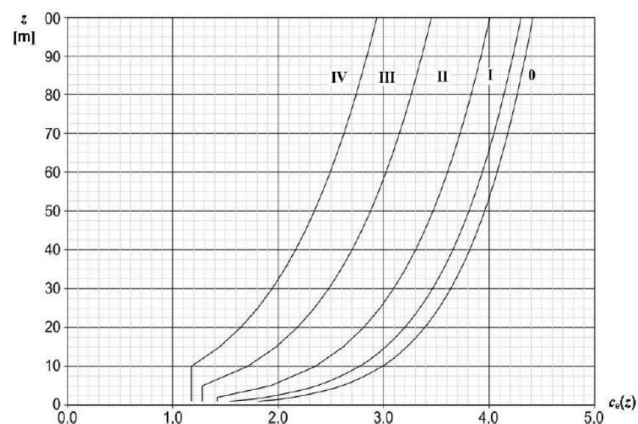
$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$c_e(z)$ - 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

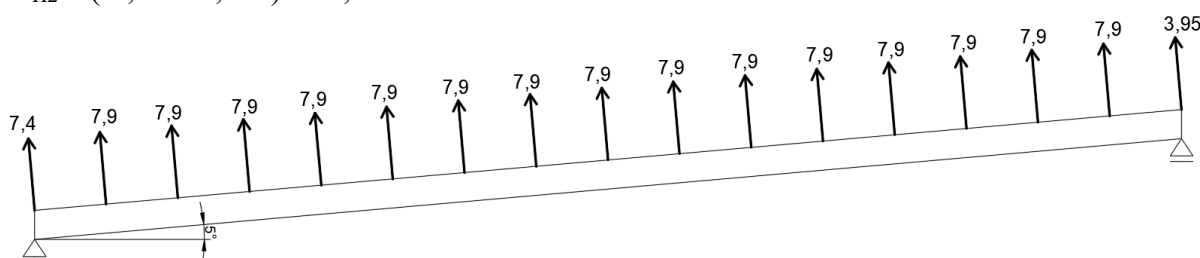
Odižući (vanjski negativni + unutarnji pozitivni)

PODRUČJE	F	G	H
We	-1,33	-0,94	-0,47
Wi	0,16	0,16	0,16
ukupno	1,49	1,1	0,63
W_{ukupno}	-7,45	-5,5	-3,15

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

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

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



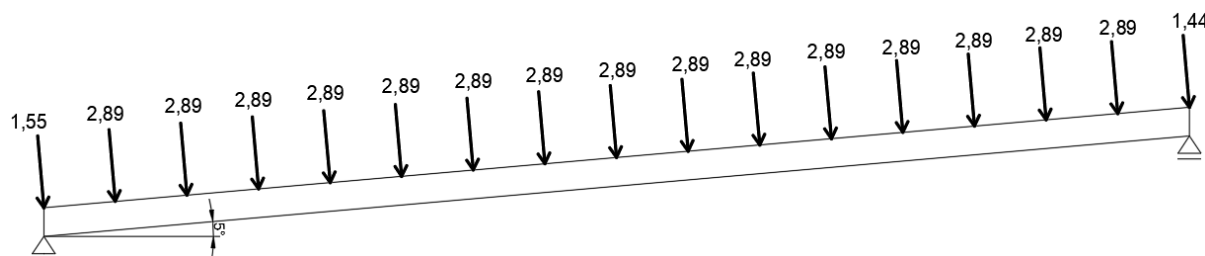
Podižući (vanjski pozitivni + unutarnji negativni)

PODRUČJE	F	G	H
We	-	-	-
Wi	-0,23	-0,23	-0,23
ukupno	-0,23	-0,23	-0,23
W_{ukupno}	-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

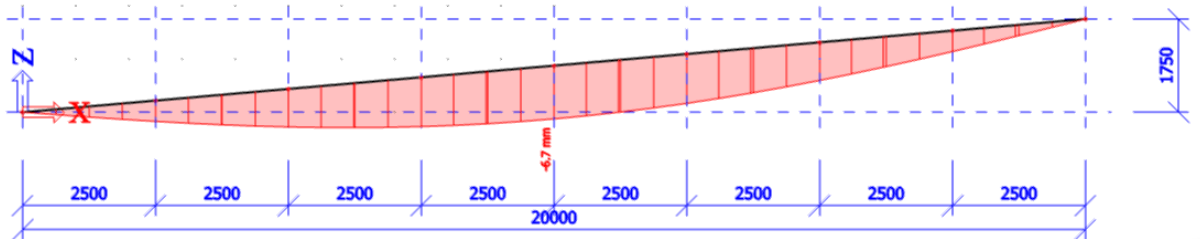
3.1 GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (KONTROLA PROGIBA)

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

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

$k_{def} = 0,6$

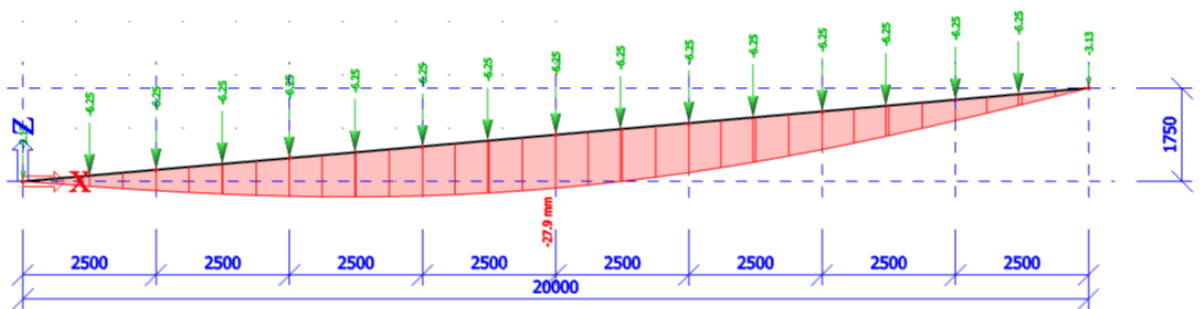
3.1.1 VLASTITA TEŽINA



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

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

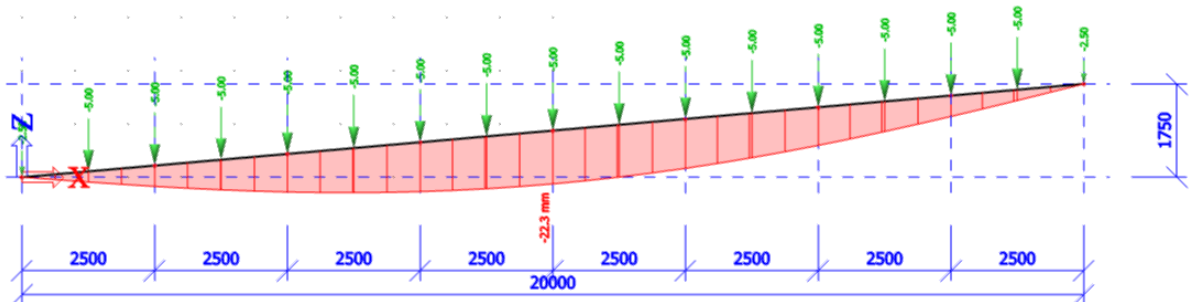
3.1.2 DODATNO STALNO OPTEREĆENJE



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

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

3.1.3 SNIJEG

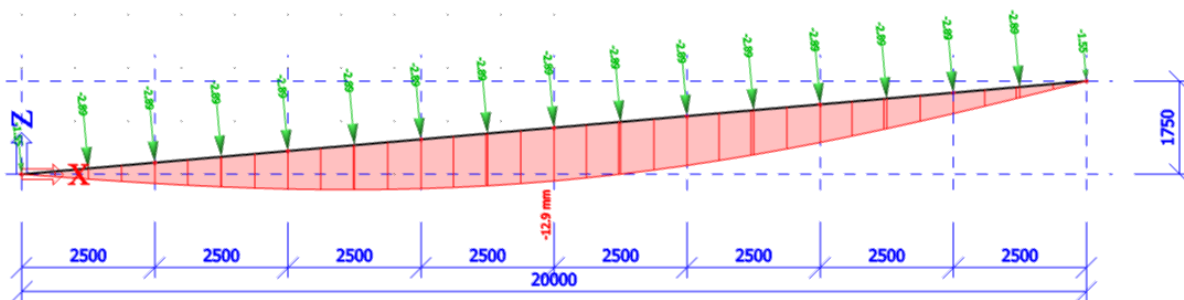


$U_{inst,S} = 22,3 \text{ mm}$

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

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

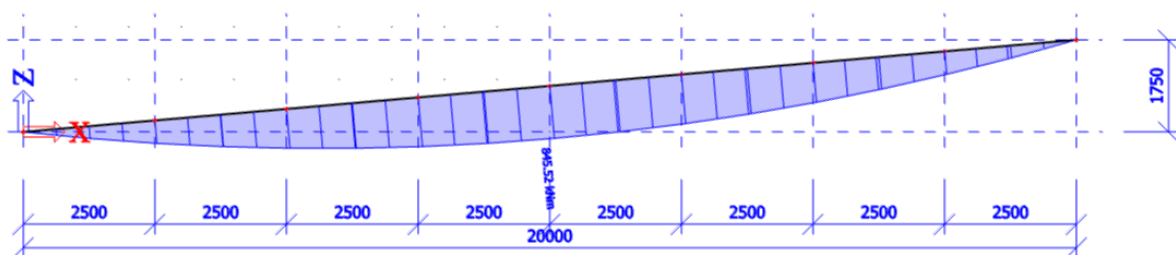
$$U_{fin} = U_{fin,Go} + U_{fin,G} + U_{fin,S} + U_{fin,W} = 74,25 \text{ mm}$$

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

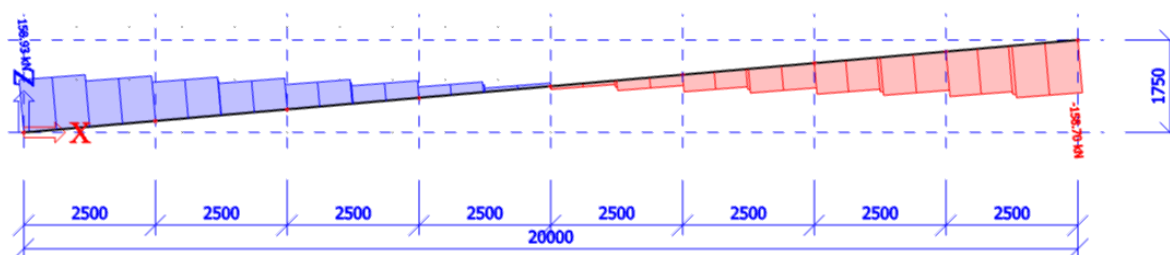
Sustav zadovoljava uvjete progiba.

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

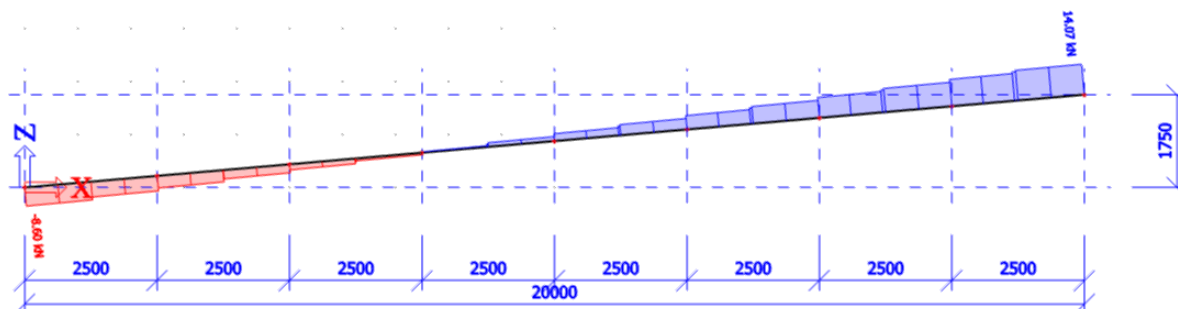
MOMENT



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) ; $\gamma_M = 1,3$

γ_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:

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

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

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

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

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

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

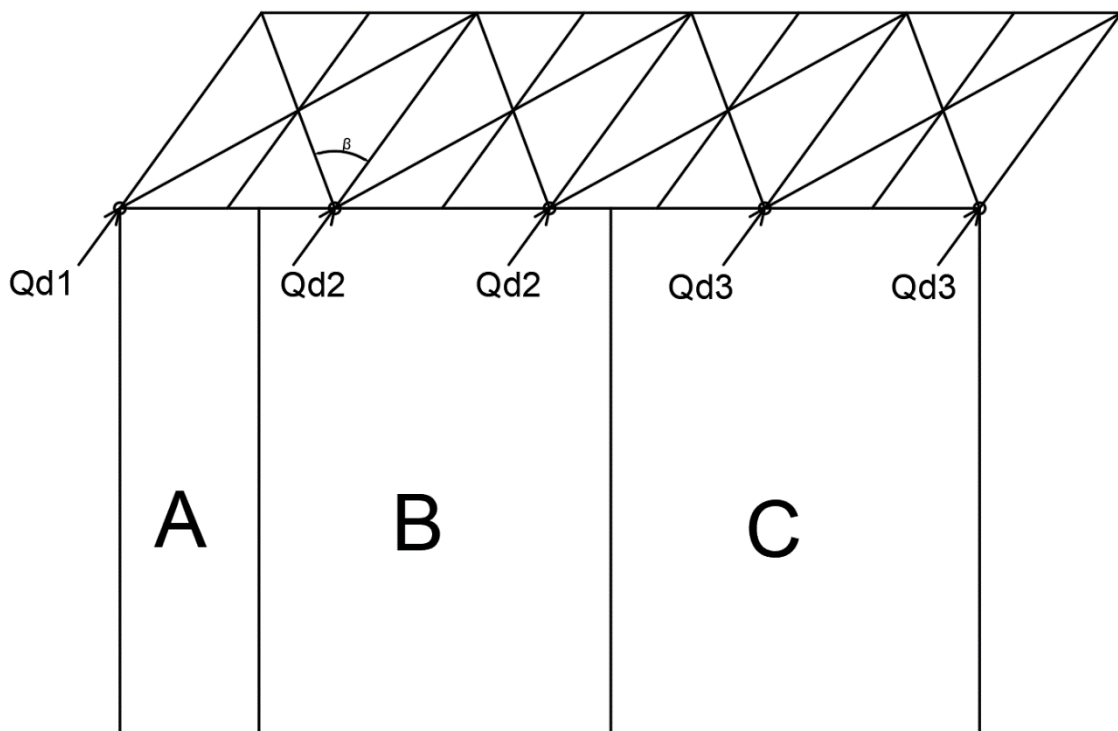
Izvijanje na jedan spreg:

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

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

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

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

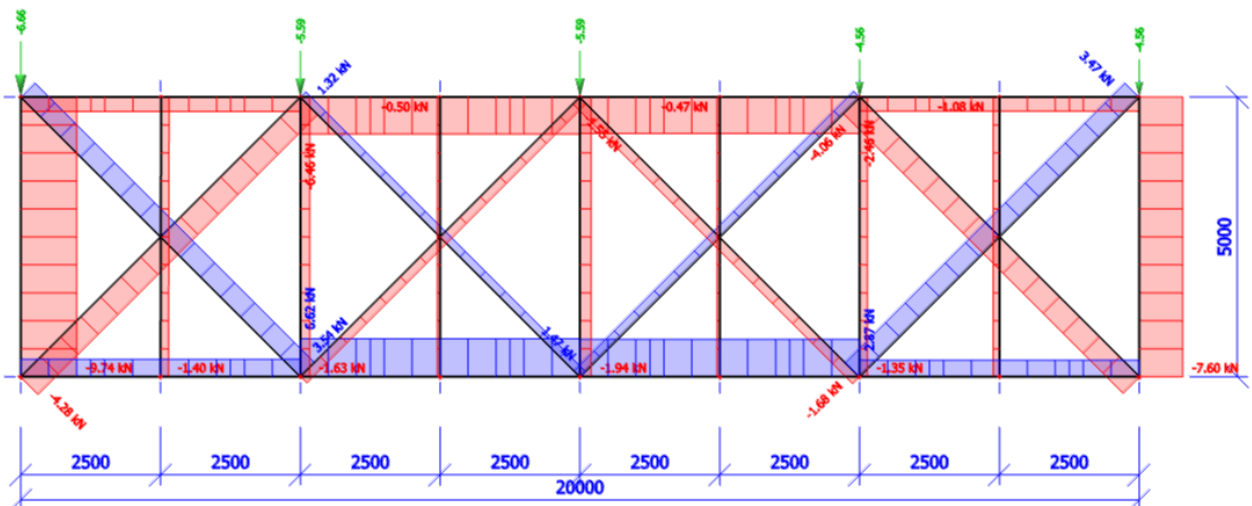
H = 6,55 m a = 2,5 m

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

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

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

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



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

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

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

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:

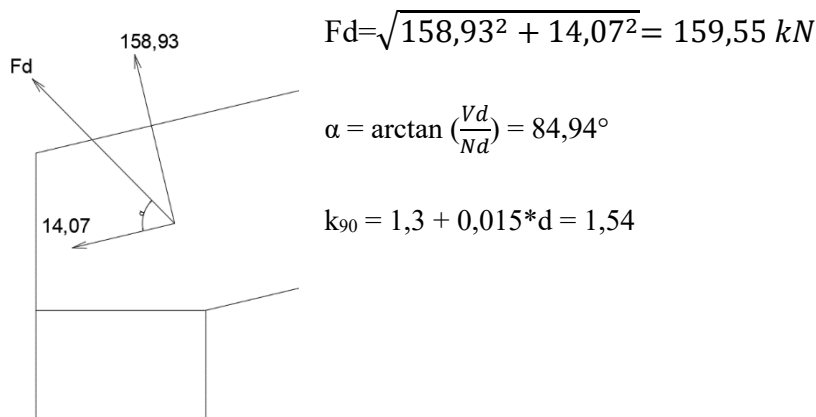
$V = 158,93 \text{ kN}$ (Vlak) ; $N = 14,07 \text{ kN}$ (Tlak)

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

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

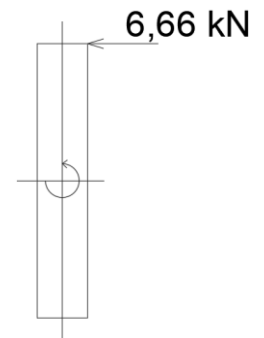
1 VIJAK U REDU, 2 REDA

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

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

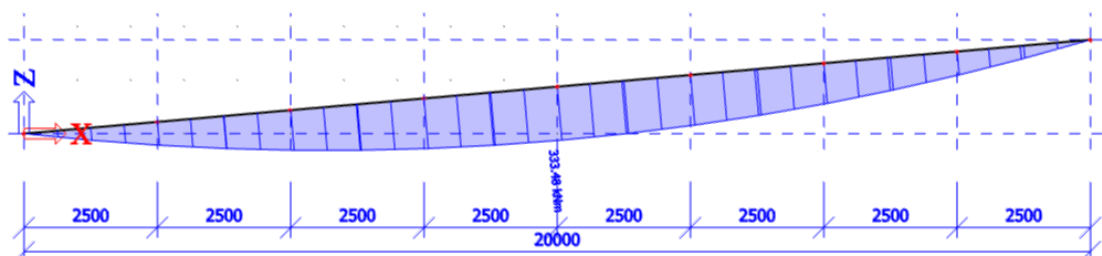
$$l_i = l/2 = 2465 \text{ mm}$$

8. VATROOTPORNOST

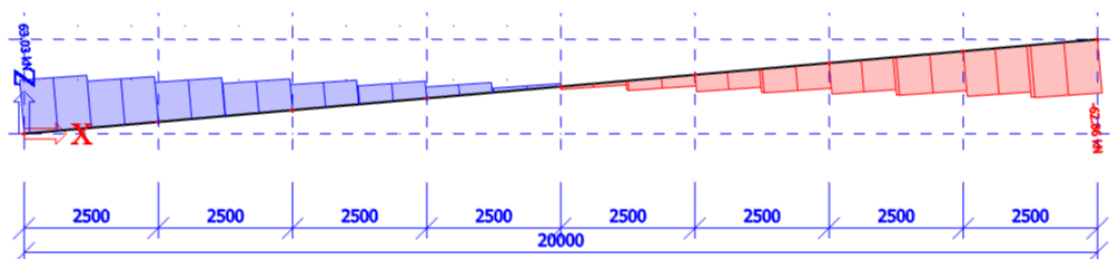
Izvodi se proračun nosivosti uslijed djelovanja požara u trajanju od 30 minuta. Spregovi su zaštićeni protupožarnim premazima.

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

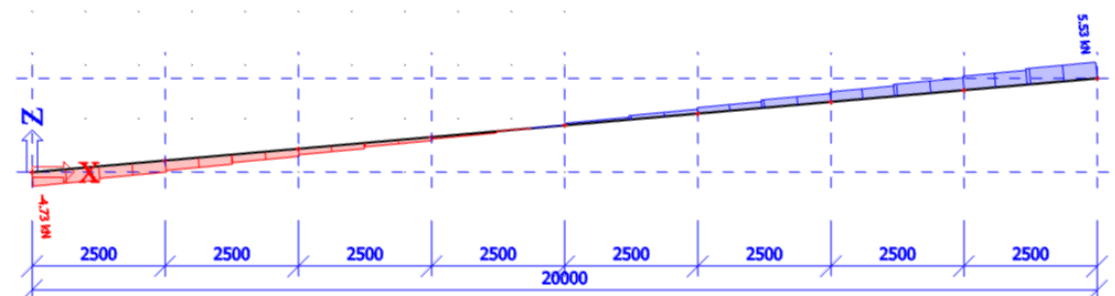
MOMENT



POPREČNE SILE



UZDUŽNE SILE



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

Proračunske brzine pougljenja (β_n i β_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:

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

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 minuta požara:

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

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

Nagoreni opseg:

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

Površina nagorenog presjeka:

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

Reducirani moment otpora:

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

Proračun naprezanja nosača:

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

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

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti:

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

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

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

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

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

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

η_0 – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi = 1,0

k_{mod} – faktor izmjene = 0,9

γ_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

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

η_0 – stupanj primjenjivosti pri uobičajenoj temperaturi = 1,0

k_{mod} – faktor izmjene = 0,9

γ_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
6. A. Bjelanović, V. Rajčić: DRVENE KONSTRUKCIJE PREMA EUROPSKIM NORMAMA
7. Ivana Barić, Tihomir Štefić, Stjepan Takač: PRORAČUN PROTUPOŽARNE OTPORNOSTI DRVENIH KONSTRUKCIJA PREMA EURONORMI