

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Čavčić, Anđela

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:123:198272>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD
OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA

Split, srpanj 2020. g.

Anđela Čavčić



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, srpanj 2020. g.

Anđela Čavčić

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: Anđela Čavčić

BROJ INDEKSA: 4557

KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstrukcije

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače i spregove konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 235

Lokacija objekta: Zagreb

Razmak okvira: 4,7 (m)

U Splitu, 23.03.2020.

Voditelj Završnog rada: prof. dr. sc. Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih ulaznih podataka o lokaciji objekta, materijalu izrade, širini objekta i visini stupova, nagibu krovne plohe, razmaku okvira i visini rešetke dimenzionirana je glavna nosiva konstrukcija čelične hale, sekundarni nosači i spregovi. Dimenzioniranje je provedeno na mjerodavnu (kritičnu) kombinaciju djelovanja opterećenja (vlastita težina, dodatno stalno opterećenje, snijeg i vjetar) prema graničnom stanju uporabljivosti (GSU) i graničnom stanju nosivosti (GSN). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „SCIA Engineer 19.1“.

Ključne riječi:

Opterećenje, kombinacija, čelik, hala, konstrukcija, rešetka, dimenzioniranje, spregovi, podrožnice, spojevi, temelji...

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on the default input data about a location of object, construction material, object width and column height, the slope of the roof surface, frame spacing and height of the grating, our assignment is to design main supporting structure of the steel hall, secondary structure, bracings and foundations. The designing is implemented by applicable (critical) combination of load action (self weight, additional constant load, snow and wind) according to ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). The results of the internal forces were calculated in „SCIA Engineer 19.1“.

Keywords:

Load, combination, steel, hall, construction, grating, design, bracings, purlins, joints, foundations

Sadržaj

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | TEHNIČKI OPIS | 1 |
| 1.1 | OPIS KONSTRUKCIJE | 1 |
| 1.1.1 | OPĆENITO | 1 |
| 1.1.2 | KONSTRUKTIVNI ELEMENTI | 3 |
| 1.1.3 | SPOJEVI | 3 |
| 1.2 | O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE | 4 |
| 1.3 | MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE | 4 |
| 1.4 | PRIMIENJENI PROPISI | 4 |
| 1.5 | ANTI-KOROZIVNA ZAŠTITA | 5 |
| 1.6 | ZAŠTITA OD POŽARA | 5 |
| 1.7 | MONTAŽA I TRANSPORT | 5 |
| 2 | ANALIZA OPTEREĆENJA | 6 |
| 2.1 | STALNO OPTEREĆENJE | 6 |
| 2.2 | PROMIENJIVO OPTEREĆENJE | 6 |
| 3 | GRANIČNO STANJE UPORABE | 23 |
| 3.1 | DIJAGRAMI REZNIH SILA | 23 |
| 3.1.1 | Prva kombinacija: $1G+1S+1W_1$ | 23 |
| 3.1.2 | Druga kombinacija: $1G+1W_2$ | 24 |
| 3.2 | KONTROLA PROGIBA | 26 |
| 3.2.1 | Vertikalni progibi | 26 |
| 3.2.2 | Horizontalni pomak | 27 |
| 4 | GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI | 29 |
| 4.1 | DIJAGRAMI REZNIH SILA | 29 |
| 4.1.1 | Prva kombinacija: $1,35G+0,9*1,5(S+W_1)$ | 29 |
| 4.1.2 | Druga kombinacija: $1G+1W_2$ | 30 |
| 4.1.3 | Treća kombinacija: $1,35G+1,5W_1$ | 32 |
| 4.1.4 | Četvrta kombinacija: $1,35G+1,5S$ | 33 |
| 4.2 | GLAVNI OKVIR | 35 |
| 4.3 | KROVNA PODROŽNICA | 40 |
| 4.4 | BOČNA PODROŽNICA | 45 |
| 4.5 | ZABATNI STUPOVI | 48 |
| 4.6 | SUSTAV KROVNIH SPREGOVA | 49 |
| 4.7 | SUSTAV BOČNIH SPREGOVA | 50 |
| 5 | DIMENZIONIRANJE | 51 |
| 5.1 | STUP | 51 |
| 5.2 | GORNJI POJAS REŠETKE | 69 |
| 5.3 | DONJI POJAS REŠETKE | 72 |
| 5.4 | DIJAGONALE | 75 |
| 5.5 | VERTIKALE | 78 |
| 5.5.1 | Vanjske vertikale | 78 |
| 5.5.2 | Unutarnje vertikale | 80 |
| 5.6 | ZABATNI STUPOVI | 83 |
| 5.7 | KROVNA PODROŽNICA | 87 |
| 5.8 | BOČNA PODROŽNICA | 96 |



KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

| | | |
|------|--|-----|
| 5.9 | BOČNI SPREG..... | 105 |
| 5.10 | KROVNI SPREG..... | 105 |
| 6 | PRORAČUN SPOJEVA..... | 106 |
| 6.1 | UPETI SPOJ STUP-TEMELJ | 106 |
| 6.2 | VLAČNI NASTAVAK REŠETKE | 111 |
| 6.3 | SPOJ STUP-REŠETKA | 113 |
| 7 | PRORAČUN TEMELJA | 116 |
| 8 | LITERATURA | 119 |
| 9 | NACRTI..... | 120 |
| 9.1 | GENERALNI PLAN POZICIJA | 121 |
| 9.2 | PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR..... | 122 |
| 9.3 | RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA..... | 123 |
| 9.4 | RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA..... | 124 |
| 9.5 | DETALJ "D1" SPOJ STUP-TEMELJ..... | 125 |
| 9.6 | DETALJ "D2" SPOJ STUP-REŠETKA..... | 126 |
| 9.7 | DETALJ "D3" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE..... | 127 |
| 10 | ISKAZ MATERIJALA..... | 128 |

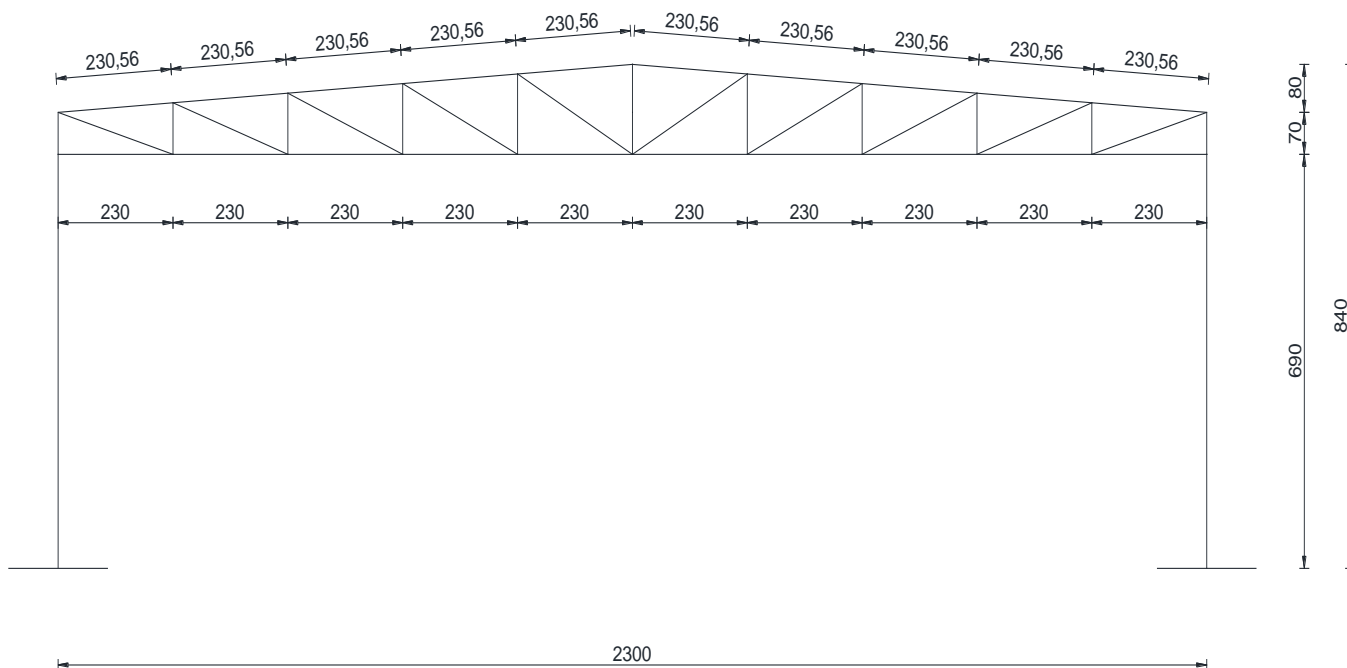
1 TEHNIČKI OPIS

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

1.1.1 OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Zagreba. Tlocrtna dimenzija su 23 x 47 (m), a visina iznosi 8,4 (m). Krovna ploha je nagiba 7%, što je jednako nagibu pod kutom $\alpha=4^{\circ}0'14,02''$ u odnosu na horizontalnu ravninu. Projektirana je za potrebe skladištenja.

Pogled na zabat



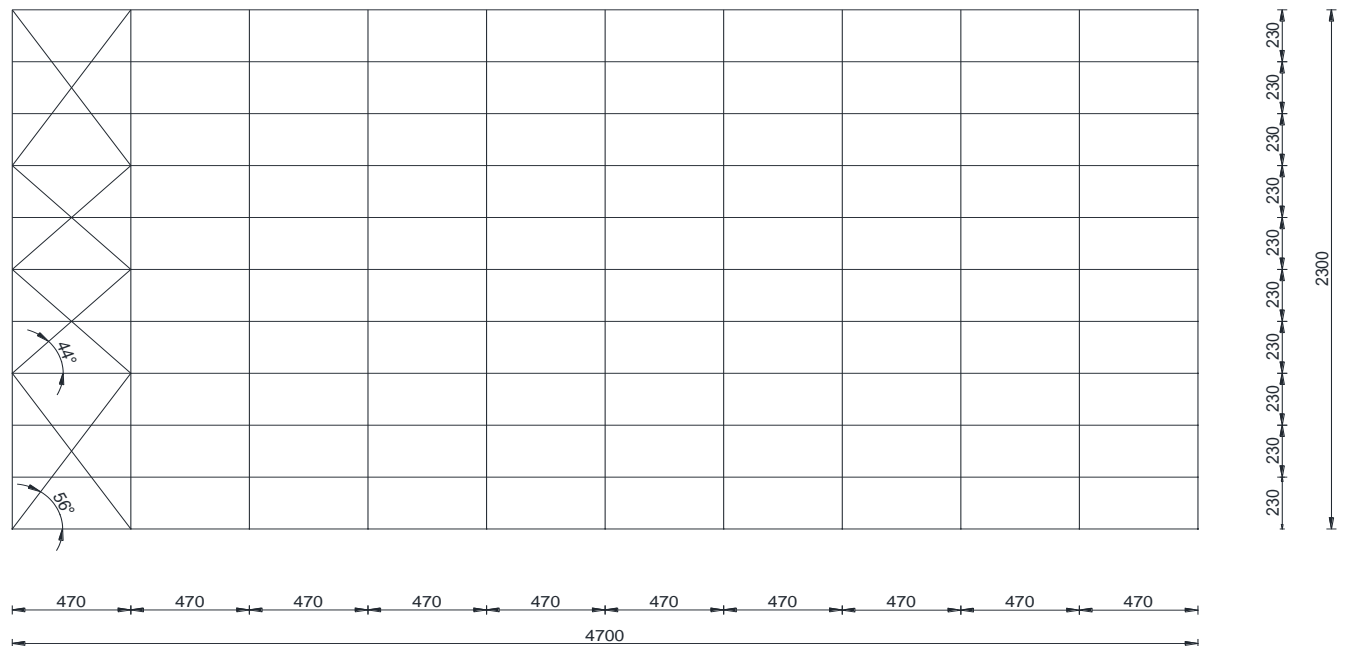
Glavni nosivi sustav hale je sustav od 10 ravninskih okvira raspona 23 (m), koji su stabilni u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 4,7 (m).

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

Bocni pogled



Tlocrt



Sekundarni krovni nosači (podrožnice) su oslonjeni na gornje pojaseve glavnih okvira i nalaze se na međusobnom osnom razmaku od 2,31 (m), a sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) su oslonjeni na stupove na međusobnom osnom razmaku od 2,3 (m).

Halu je potrebno stabilizirati u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav. Stabilizacija je ostvarena krovnim spregovima i bočnim spregovima u krajnjim poljima (prvom i posljednjem). Za pokrov se koriste aluminijski sendvič paneli.

1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

Glavna rešetka

Glavna uloga glavnih rešetki je da preuzmu opterećenja od vlastite težine, snijega i vjetra pa su prema tome i dimenzionirane. Profili gornjeg i donjeg pojasa su kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 150/150/6 spojeni u čvorovima. Profili vanjskih vertikalna su kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 150/150/6, profili unutarnjih vertikalna 140/140/4, dok su profili dijagonala kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 90/90/4.

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA 260 duljine 6900 mm. Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 180. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

Podrožnice

Podrožnica je položena tako da je okomita na nagib krovne plohe, a uloga joj je da prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Pri dimenzioniranju krovnih podrožnica uzima se u obzir djelovanje snijega i vjetra, vlastite težine i dodatne težine, a pri dimenzioniranju bočnih podrožnica u proračun ulazi djelovanje vjetra i vlastita težina podrožnice. Profili krovnih podrožnica su IPE 220, a bočnih podrožnica IPE 160. Duljina podrožnica je 4,7 m.

Spregovi

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za sprječavanje izbočavanja. Horizontalni i vertikalni spregovi su dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka RD 14 (krovni spreg) i RD 14 (bočni spreg).

1.1.3 SPOJEVI

SPOJ STUP – TEMELJ

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 460x300x35 (mm) koja je navarena na kraj stupa i pričvršćena vijcima M22 k.v. 5.6, nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

SPOJ STUP – REŠETKA

Spoj grede na pojas stupa izvodi se pomoću se čeone ploče dimenzija 300x300x10 (mm) i vijaka M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Spoj nastavka gornjeg i donjeg pojasa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 331x331x30 (mm), navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćene vijcima M22 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na konstrukciju i to:

- stalno (vlastita težina građevine),
- snijeg,
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 4,7 (m) širine krovne plohe.

Proračun je konstrukcije izvršen u programu „Scia Engineer 19.1.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao proste grede širine 4,7 (m). Dimenzioniranje je elemenata hale i spojeva izvršeno prema najkritičnijoj kombinaciji opterećenja.

1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S235.

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom. Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

1.4 PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

HRN EN 1991-1-1:2012 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja

Zgrada

HRN EN 1991-1-3:2012 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio

1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom

HRN EN 1991-1-4:2012 – Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja -- Djelovanja

vjetra

HRN EN 1992-1-1:2013 - Eurokod 2: Projektiranje betonskih

konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, HRN EN

1993-1-1:2014 - Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade



1.5 ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

Cijela čelična konstrukcija, svi njezini dijelovi, trebaju biti zaštićeni od korozije prema odredbama "Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcije od korozije". Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 µm.

1.6 ZAŠTITA OD POŽARA

U svrhu odugovlačenja zagrijavanja elemenata čelične konstrukcije tj. kako bi što duže održala projektiranu nosivost, svi elementi konstrukcije moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature. Također je potrebno opremiti objekt uređajima za najavu i gašenje požara za slučaj nastanka požara.

1.7 MONTAŽA I TRANSPORT

Pozicije okvira će se izrezati u radionici i transportirati na gradilište. Potrebno je obratiti posebnu pažnju na montažu i transport kako bi se izbjegla nepotrebna oštećenja i deformacije. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s "Pravilnikom o zaštiti na radu".

2 ANALIZA OPTEREĆENJA

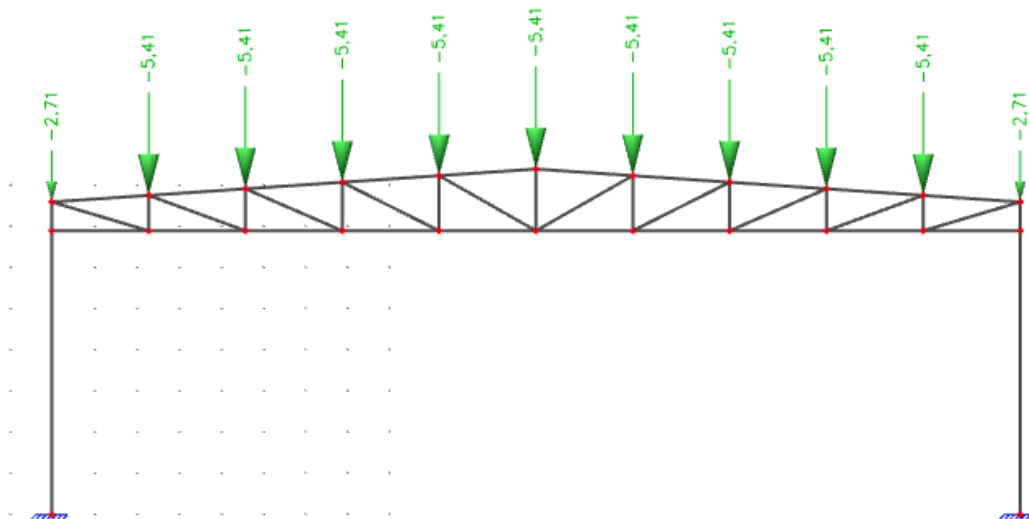
2.1 Stalno opterećenje

1. Sendvič paneli (aluminij): 0,2 kN/m²
2. Sekundarna konstrukcija i spregovi: 0,2 kN/m²
3. Instalacije: 0,1 kN/m²

$$\Sigma g_d = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$G = g_d \cdot n \cdot a = 0,5 \cdot 4,7 \cdot 2,304 = 5,41 \text{ kN}$$

$$g' = g_d \cdot a = 0,5 \cdot 2,304 = 1,15 \text{ kN/m'}$$



Slika 4.1.1. Opterećenje dodatnom težinom

2.2 Promjenjivo opterećenje

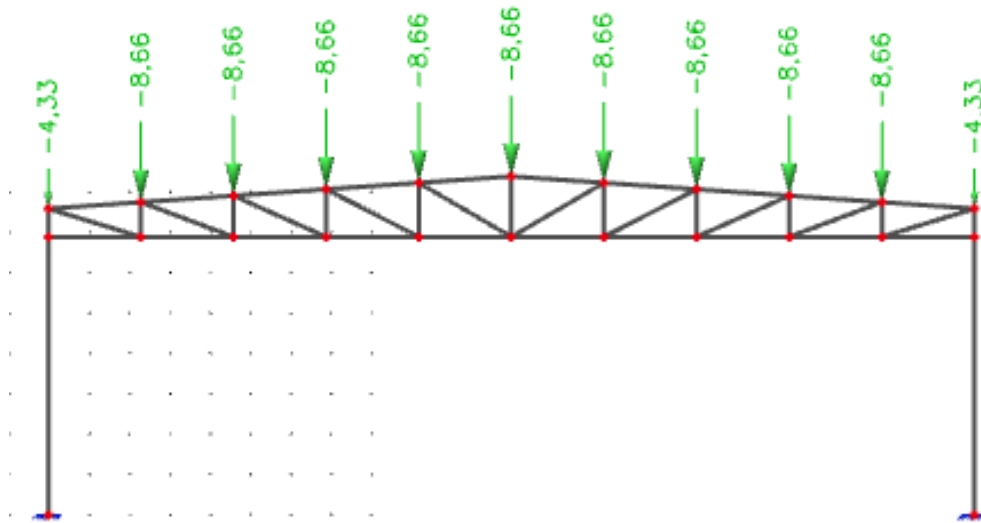
1. Snijeg

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$S = s \cdot n \cdot a = 0,8 \cdot 4,7 \cdot 2,034 = 8,66 \text{ kN}$$

$$s' = s \cdot a = 0,8 \cdot 2,034 = 1,63 \text{ kN/m'}$$

$\mu_i = 0,8$ (dvostrešni krov)
 $C_e, C_t = 1$
 $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$ (Zagreb- kontinentalna Hrvatska
 (zona 3), nadmorska visina 100 m)



Slika 4.1.2. Opterećenje snijegom

2. Vjetar

- osnovni pritisak vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 20^2 = 250 \text{ N/m}^2$$

- osnovna brzina vjetra:

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 20 = 20 \text{ m/s}$$

| |
|---|
| $C_{dir} = 1$ $C_{season} = 1$ $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ (očitano s karte) |
|---|

- srednja brzina vjetra:

$$v_m(z) C_r(z) * C_0(z) * v_b = 0,974 * 1 * 20 = 19,47 \text{ m/s}$$

| |
|--|
| $C_0(z) = 1$ (faktor orografije) $C_r(z)$ -faktor hrapavosti terena |
|--|

- faktor hrapavosti terena:

$$C_r(z) = k_r * \ln \frac{z}{z_0}, \text{ za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \text{ (II. Kategorija terena: } 2 \leq z \leq 200 \text{), } z = 8,4 \text{ m}$$

$$C_r(z) = 0,19 * \ln \frac{8,4}{0,05} = 0,974$$

- faktor terena k_r :

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

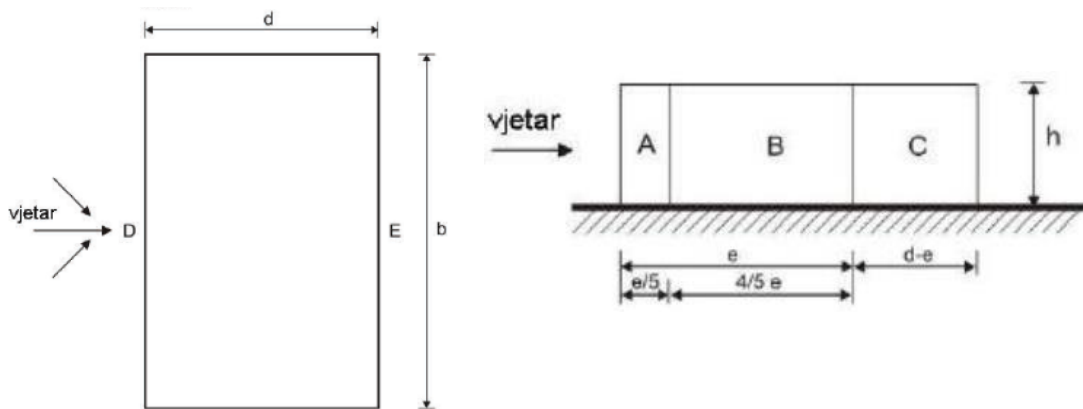
- pritisak vjetra pri udaru:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,195] * \frac{1}{2} * 1,25 * 19,47^2 = 560,33 \text{ N/m}^2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

- intezitet turbulencije $I_v(z)$:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{C_0(z) * \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 * \ln \frac{8,4}{0,05}} = 0,195$$

- koeficijenti pritiska na vanjske površine konstrukcije C_{pe} :
 - vertikalne površine konstrukcije:



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

NAPOMENA: Za pojedinačne zgrade na otvorenome terenu u područjima u zavjetrini mogu nastupiti i veće sile.
 Međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati.
 Za zgrade čiji je omjer $h/d > 5$, ukupno opterećenje vjetrom smije se temeljiti na odredbama iz točaka od 7.6 do 7.8 i 7.9.2.

$$\frac{h}{d} = \frac{8,4}{23} = 0,365$$

A: $C_{pe} = -1,2$

B: $C_{pe} = -0,8$

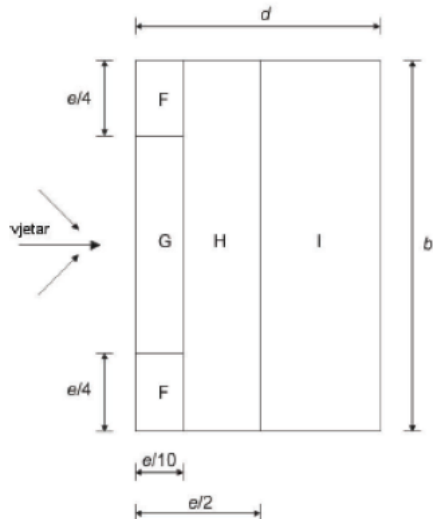
C: $C_{pe} = -0,5$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

D: $C_{pe} = 0,715 \approx 0,72$

E: $C_{pe} = -0,331 \approx 0,33$

- za krovna područja – dvostrešni ravni krov:



| Vrsta krova | | Područje | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | F | | G | | H | | I | |
| | | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Oštri zabati | | -1,8 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | -0,2 |
| S nadozidima | $h_p/h = 0,025$ | -1,6 | -2,2 | -1,1 | -1,8 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | -0,2 |
| | $h_p/h = 0,05$ | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,6 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | -0,2 |
| | $h_p/h = 0,10$ | -1,2 | -1,8 | -0,8 | -1,4 | -0,7 | -1,2 | +0,2 | -0,2 |
| Zaobljeni zabati | $r/h = 0,05$ | -1,0 | -1,5 | -1,2 | -1,8 | -0,4 | | +0,2 | -0,2 |
| | $r/h = 0,10$ | -0,7 | -1,2 | -0,8 | -1,4 | -0,3 | | +0,2 | -0,2 |
| | $r/h = 0,20$ | -0,5 | -0,8 | -0,5 | -0,8 | -0,3 | | +0,2 | -0,2 |
| Izlomljeni zabati | $\alpha = 30^\circ$ | -1,0 | -1,5 | -1,0 | -1,5 | -0,3 | | +0,2 | -0,2 |
| | $\alpha = 45^\circ$ | -1,2 | -1,8 | -1,3 | -1,9 | -0,4 | | +0,2 | -0,2 |
| | $\alpha = 60^\circ$ | -1,3 | -1,9 | -1,3 | -1,9 | -0,5 | | +0,2 | -0,2 |

NAPOMENA 1: Za krovove s nadozidima ili zaobljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija za međuvrijednosti h_p/h i r/h .
 NAPOMENA 2: Za krovove s izlomljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija između $\alpha = 30^\circ$, 45° i $\alpha = 60^\circ$. Za $\alpha > 60^\circ$ smije se upotrebljavati linearna interpolacija između vrijednosti za $\alpha = 60^\circ$ i vrijednosti za ravne krovove s oštrim (izlomljenim) zabatima.
 NAPOMENA 3: U području I, gdje su dane i pozitivne i negativne vrijednosti, u obzir treba uzeti obje vrijednosti.
 NAPOMENA 4: Za sami izlomljeni zabat, koefijenti vanjskog taka dani su u tablici 7.4a „Koefijenti vanjskog taka za dvostrešne krovove; smjer vjetra 0°“, područje F i G, ovisno o nagibu izlomljenog zabata.
 NAPOMENA 5: Za sami zaobljeni zabat, koefijent i vanjskog taka dani su linearnom interpolacijom duž krivulje, između vrijednosti na zidu i na krovu.
 NAPOMENA 6: Za mansardne strehe čije su horizontalne dimenzije manje od $e/10$ treba uzeti vrijednosti za oštre strehe. Za definiciju e vidjeti sliku 7.6



KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

F: $C_{pe} = -1,8$

G: $C_{pe} = -1,2$

H: $C_{pe} = -0,7$

I: $C_{pe} = \pm 0,2$

*zona F se ne razmatra jer se proračunava središnji okvir

- koeficijenti pritiska na unutarnje površine konstrukcije:

$C_{pi} = -0,3$

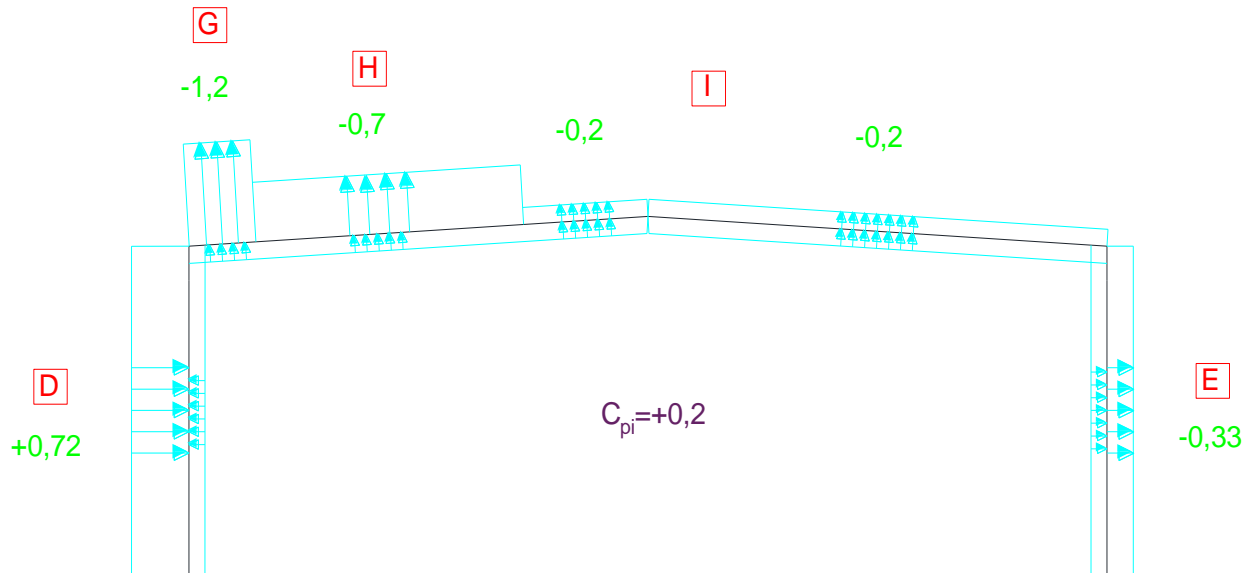
$C_{pe} = +0,2$

- određivanje opterećenja vjetrom w :
 - opterećenje vjetrom na vanjske površine : $w_e = q_p(z_e) * C_{pe}$
 - opterećenje vjetrom na unutarnje površine: $w_i = q_{pi}(z_i) * C_{pi}$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

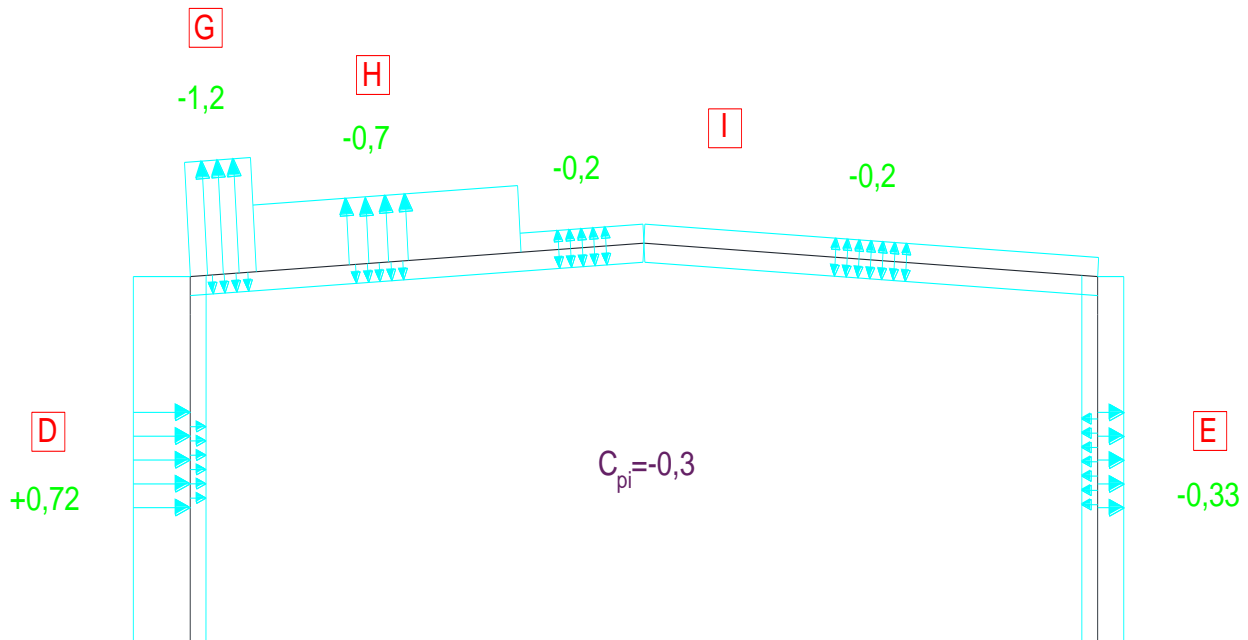
- rezultirajuće djelovanje vjetra:

1.)



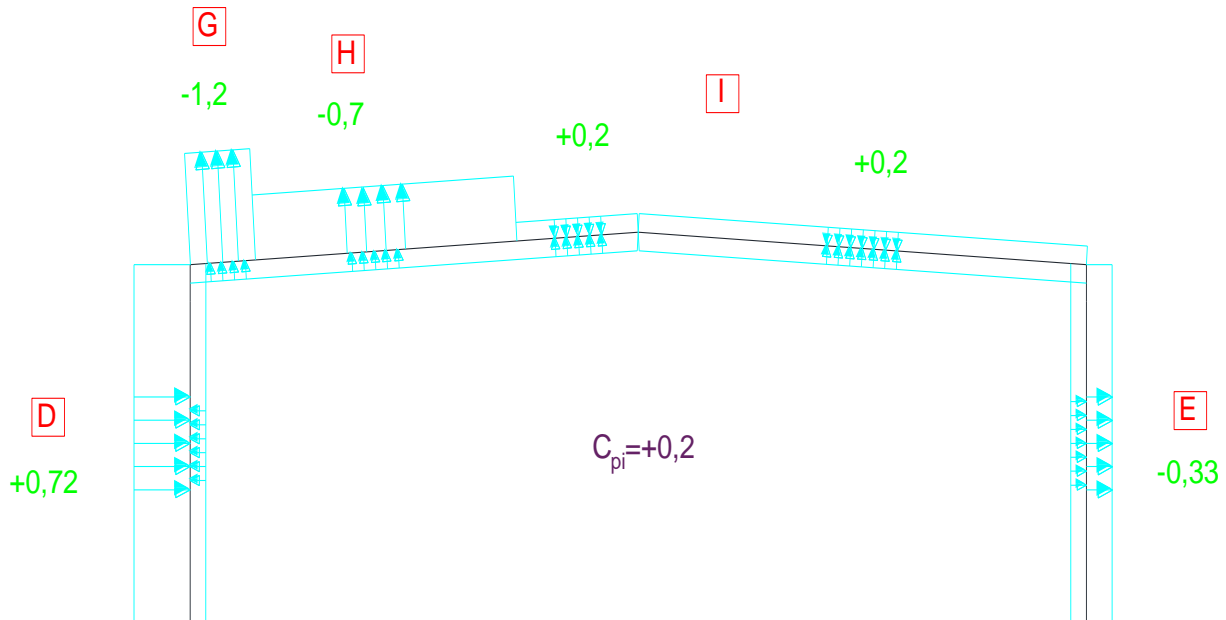
| PODRUČJE | C_{pi} | C_{pe} | $q_p(z_e) * (C_{pi}'' + C_{pe})$ | $w [kN/m^2]$ | SMJER |
|----------|----------|----------|----------------------------------|--------------|-------|
| D | +0,2 | +0,72 | $0,56 * (0,2 - 0,72)$ | 0,29 | + |
| E | +0,2 | -0,33 | $0,56 * (0,2 + 0,33)$ | 0,30 | - |
| F | +0,2 | -1,8 | $0,56 * (0,2 + 1,8)$ | 1,12 | - |
| G | +0,2 | -1,2 | $0,56 * (0,2 + 1,2)$ | 0,78 | - |
| H | +0,2 | -0,7 | $0,56 * (0,2 + 0,7)$ | 0,50 | - |
| I | +0,2 | -0,2 | $0,56 * (0,2 + 0,2)$ | 0,22 | - |

2.)



| PODRUČJE | C_{pi} | C_{pe} | $q_p(z_e) * (C_{pi}'' + C_{pe})$ | $w [kN/m^2]$ | SMJER |
|----------|----------|----------|----------------------------------|--------------|-------|
| D | -0,3 | +0,72 | $0,56 * (0,3 + 0,72)$ | 0,57 | + |
| E | -0,3 | -0,33 | $0,56 * (0,3 - 0,33)$ | 0,02 | - |
| F | -0,3 | -1,8 | $0,56 * (0,3 - 1,8)$ | 0,84 | - |
| G | -0,3 | -1,2 | $0,56 * (0,3 - 1,2)$ | 0,50 | - |
| H | -0,3 | -0,7 | $0,56 * (0,3 - 0,7)$ | 0,22 | - |
| I | -0,3 | -0,2 | $0,56 * (0,3 - 0,2)$ | 0,06 | + |

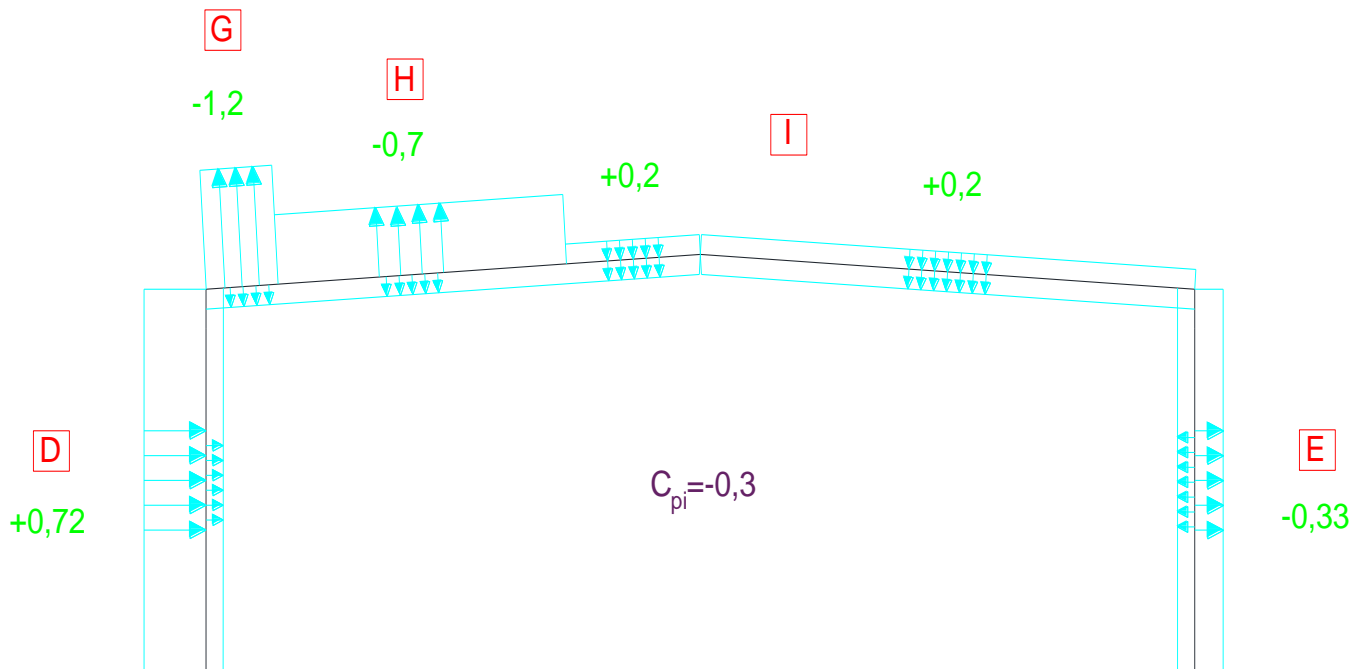
3.)



| PODRUČJE | C_{pi} | C_{pe} | $q_p(z_e) * (C_{pi}'' + C_{pe})$ | $w [kN/m^2]$ | SMJER |
|----------|----------|----------|----------------------------------|--------------|-------|
| D | +0,2 | +0,72 | $0,56 * (0,2 - 0,72)$ | 0,29 | + |
| E | +0,2 | -0,33 | $0,56 * (0,2 + 0,33)$ | 0,30 | - |
| F | +0,2 | -1,8 | $0,56 * (0,2 + 1,8)$ | 1,12 | - |
| G | +0,2 | -1,2 | $0,56 * (0,2 + 1,2)$ | 0,78 | - |
| H | +0,2 | -0,7 | $0,56 * (0,2 + 0,7)$ | 0,50 | - |
| I | +0,2 | +0,2 | $0,56 * (0,2 - 0,2)$ | 0,00 | / |

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

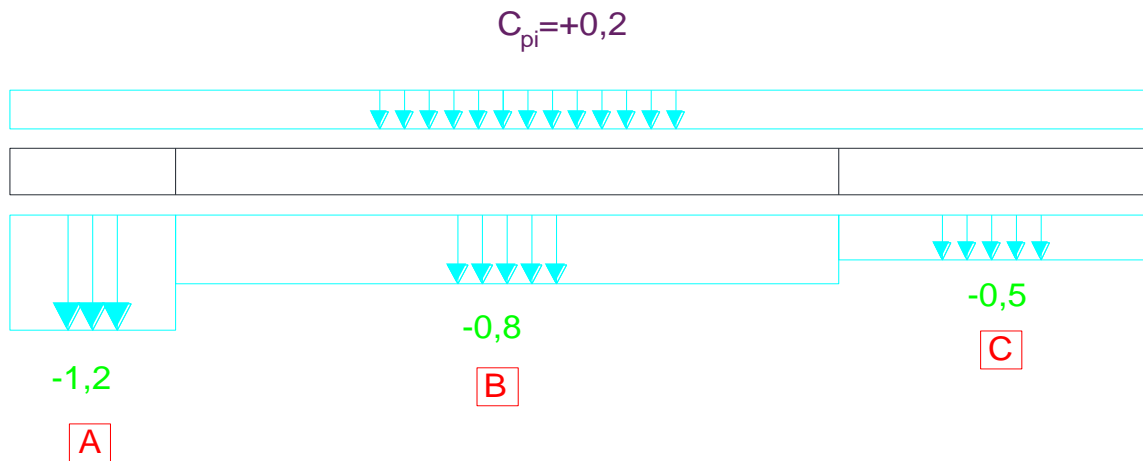
4.)



| PODRUČJE | C_{pi} | C_{pe} | $q_p(z_e) * (C_{pi}'' + C_{pe})$ | $w [kN/m^2]$ | SMJER |
|----------|----------|----------|----------------------------------|--------------|-------|
| D | -0,3 | +0,72 | $0,56 * (0,3 + 0,72)$ | 0,57 | + |
| E | -0,3 | -0,33 | $0,56 * (0,3 - 0,33)$ | 0,02 | - |
| F | -0,3 | -1,8 | $0,56 * (0,3 - 1,8)$ | 0,84 | - |
| G | -0,3 | -1,2 | $0,56 * (0,3 - 1,2)$ | 0,50 | - |
| H | -0,3 | -0,7 | $0,56 * (0,3 - 0,7)$ | 0,22 | - |
| I | -0,3 | +0,2 | $0,56 * (0,3 + 0,2)$ | 0,28 | + |

Mjerodavne su 1. i 4. kombinacija.

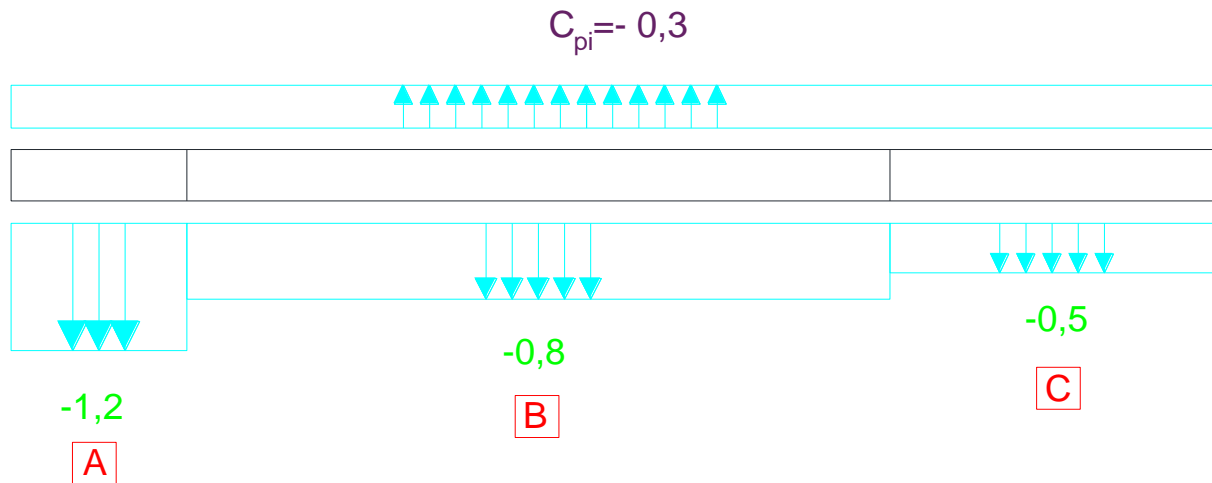
5.)



| PODRUČJE | C_{pi} | C_{pe} | $q_p(z_e)*(C_{pi}''+''C_{pe})$ | $w [kN/m^2]$ | SMJER |
|----------|----------|----------|--------------------------------|--------------|-------|
| A | +0,2 | -1,2 | $0,56*(0,2+1,2)$ | 0,78 | - |
| B | +0,2 | -0,8 | $0,56*(0,2+0,8)$ | 0,56 | - |
| C | +0,2 | -0,5 | $0,56*(0,2+0,5)$ | 0,39 | - |

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

6.)



| PODRUČJE | C_{pi} | C_{pe} | $q_p(z_e) * (C_{pi}'' + C_{pe})$ | $w [kN/m^2]$ | SMJER |
|----------|----------|----------|----------------------------------|--------------|-------|
| A | -0,3 | -1,2 | $0,56 * (0,3 - 1,2)$ | 0,50 | - |
| B | -0,3 | -0,8 | $0,56 * (0,3 - 0,8)$ | 0,28 | - |
| C | -0,3 | -0,5 | $0,56 * (0,3 - 0,5)$ | 0,11 | - |



KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

Sile u čvorovima:

- 1. Kombinacija odizanje (W_2):

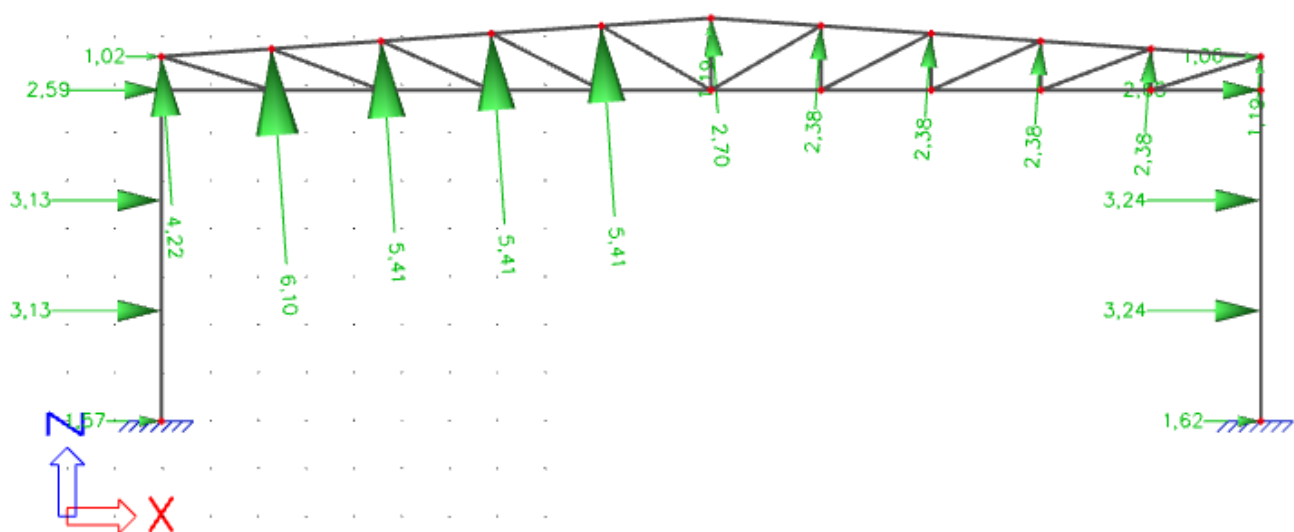
Stupovi:

| ČVOR | w [kN/m ²] | UTJECAJNA ŠIRINA | w [kN/m'] | UTJECAJNA POVRŠINA | w [kN] |
|------|------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|--------|
| 1 | 0,29 | 1,15 | 0,33 | 1,15*4,7 | 1,57 |
| 2 | 0,29 | 2,3 | 0,67 | 2,3*4,7 | 3,13 |
| 3 | 0,29 | 2,3 | 0,67 | 2,3*4,7 | 3,13 |
| 4 | 0,29 | 1,15+0,75 | 0,55 | (1,15*4,7)+(0,75*4,7) | 2,59 |
| 5 | 0,29 | 0,75 | 0,22 | 0,75*4,7 | 1,02 |
| 6 | -0,30 | 0,75 | -0,23 | 0,75*4,7 | -1,06 |
| 7 | -0,30 | 1,15+0,75 | -0,57 | (1,15*4,7)+(0,75*4,7) | -2,68 |
| 8 | -0,30 | 2,3 | -0,69 | 2,3*4,7 | -3,24 |
| 9 | -0,30 | 2,3 | -0,69 | 2,3*4,7 | -3,24 |
| 10 | -0,30 | 1,15 | -0,35 | 1,15*4,7 | -1,62 |

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

Krov:

| ČVOR | w [kN/m ²] | UTJECAJNA ŠIRINA | w [kN/m'] | UTJECAJNA POVRŠINA | w [kN] |
|------|---------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|--------|
| 1 | -0,78 | 1,15 | -0,90 | 1,15*4,7 | -4,22 |
| 2 | -0,78 | 0,53 | -1,30 | 0,53*4,7 | -6,10 |
| | -0,50 | 1,15+0,62 | | (1,15+0,62)*4,7 | |
| 3 | -0,50 | 2,3 | -1,15 | 2,3*4,7 | -5,41 |
| 4 | -0,50 | 2,3 | -1,15 | 2,3*4,7 | -5,41 |
| 5 | -0,50 | 2,3 | -1,15 | 2,3*4,7 | -5,41 |
| 6L | -0,50 | 1,15 | -1,15 | 1,15*4,7 | -2,70 |
| 6D | -0,22 | 1,15 | -0,25 | 1,15*4,7 | -1,19 |
| 7 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 8 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 9 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 10 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 11 | -0,22 | 1,15 | -0,25 | 1,15*4,7 | -1,19 |



KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

- 4. Kombinacija- pritisak (W_1):

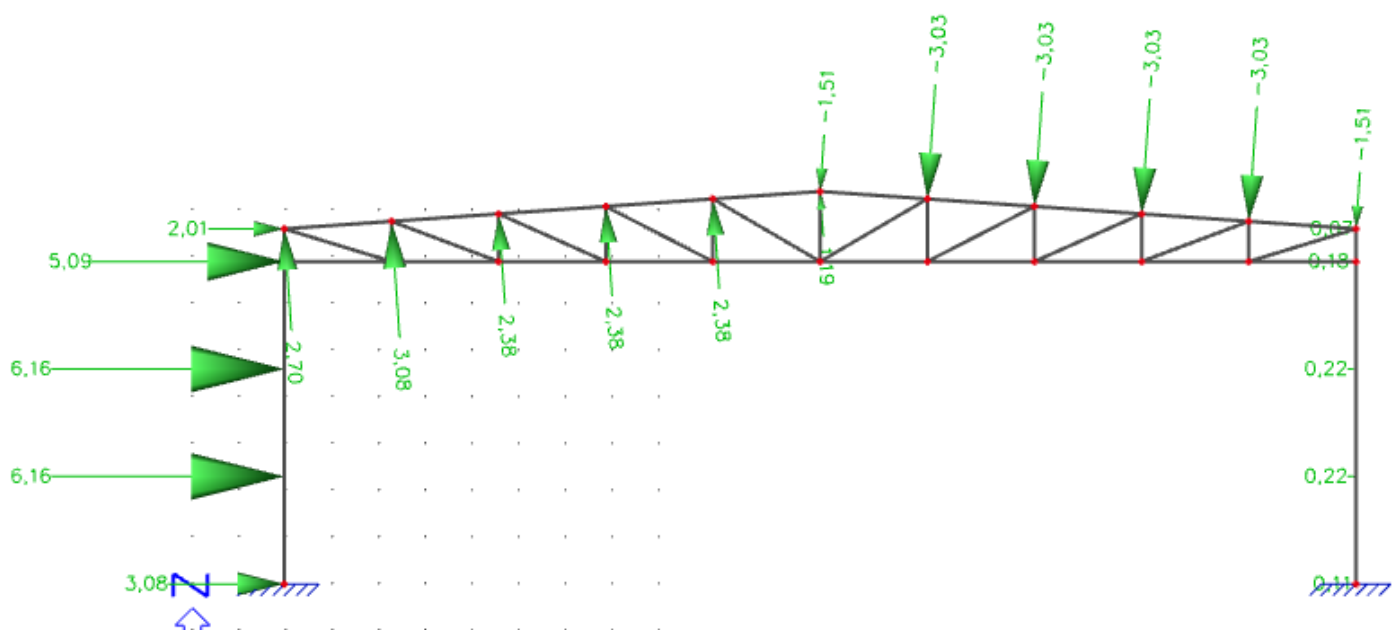
Stupovi:

| ČVOR | w [kN/m ²] | UTJECAJNA ŠIRINA | w [kN/m'] | UTJECAJNA POVRŠINA | w [kN] |
|------|------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|--------|
| 1 | 0,57 | 1,15 | 0,66 | 1,15*4,7 | 3,08 |
| 2 | 0,57 | 2,3 | 1,31 | 2,3*4,7 | 6,16 |
| 3 | 0,57 | 2,3 | 1,31 | 2,3*4,7 | 6,16 |
| 4 | 0,57 | 1,15 0,75 | 1,08 | (1,15*4,7)+(0,75*4,7) | 5,09 |
| 5 | 0,57 | 0,75 | 0,43 | 0,75*4,7 | 2,01 |
| 6 | -0,02 | 0,75 | -0,02 | 0,75*4,7 | -0,07 |
| 7 | -0,02 | 1,15 0,75 | -0,04 | (1,15*4,7)+(0,75*4,7) | -0,18 |
| 8 | -0,02 | 2,3 | -0,05 | 2,3*4,7 | -0,22 |
| 9 | -0,02 | 2,3 | -0,05 | 2,3*4,7 | -0,22 |
| 10 | -0,02 | 1,15 | -0,02 | 1,15*4,7 | -0,11 |

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

Krov:

| ČVOR | w [kN/m ²] | UTJECAJNA ŠIRINA | w [kN/m'] | UTJECAJNA POVRŠINA | w [kN] |
|------|------------------------|---------------------|-----------|-----------------------|--------|
| 1 | -0,50 | 1,15 | -0,58 | 1,15*4,7 | -2,70 |
| 2 | -0,50 | 0,53 | -0,66 | 0,53*4,7 | -3,08 |
| | -0,22 | 1,15+0,62 | | (1,15+0,62)*4,7 | |
| 3 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 4 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 5 | -0,22 | 2,3 | -0,51 | 2,3*4,7 | -2,38 |
| 6L | -0,22 | 1,15 | -0,25 | 1,15*4,7 | -1,19 |
| 6D | 0,28 | 1,15 | 0,32 | 1,15*4,7 | 1,51 |
| 7 | 0,28 | 2,3 | 0,64 | 2,3*4,7 | 3,03 |
| 8 | 0,28 | 2,3 | 0,64 | 2,3*4,7 | 3,03 |
| 9 | 0,28 | 2,3 | 0,64 | 2,3*4,7 | 3,03 |
| 10 | 0,28 | 2,3 | 0,64 | 2,3*4,7 | 3,03 |
| 11 | 0,28 | 1,15 | 0,32 | 1,15*4,7 | 1,51 |



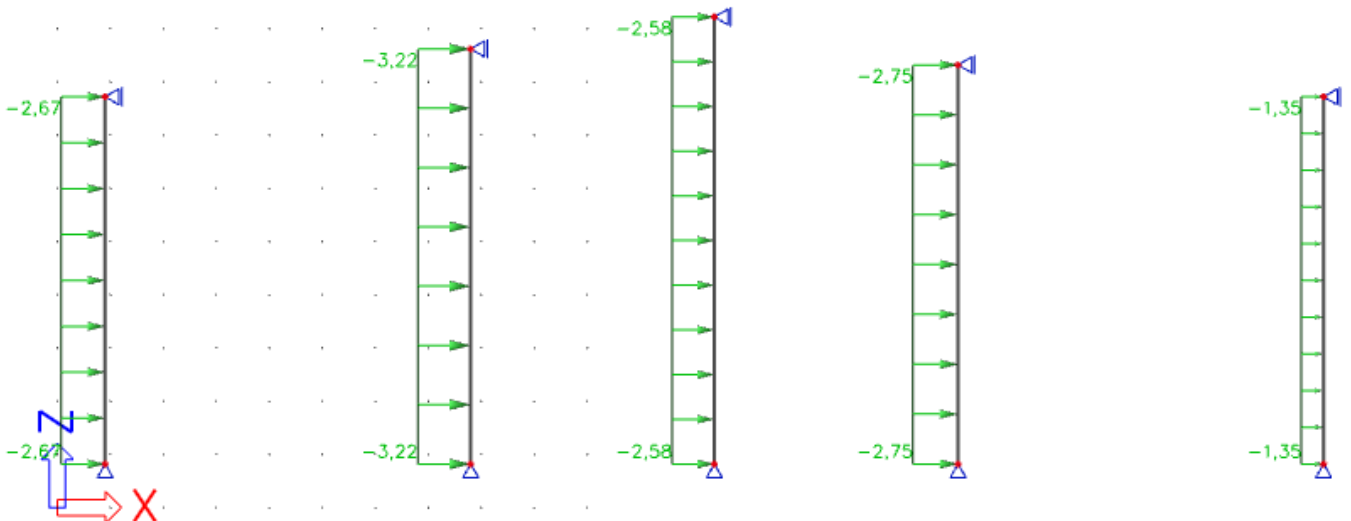
KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

*zona H se uzima do sljemena da nema miješanja pozitivnih i negativnih tlakova na istoj strani krovne plohe

Sile na zabatnim stupovima:

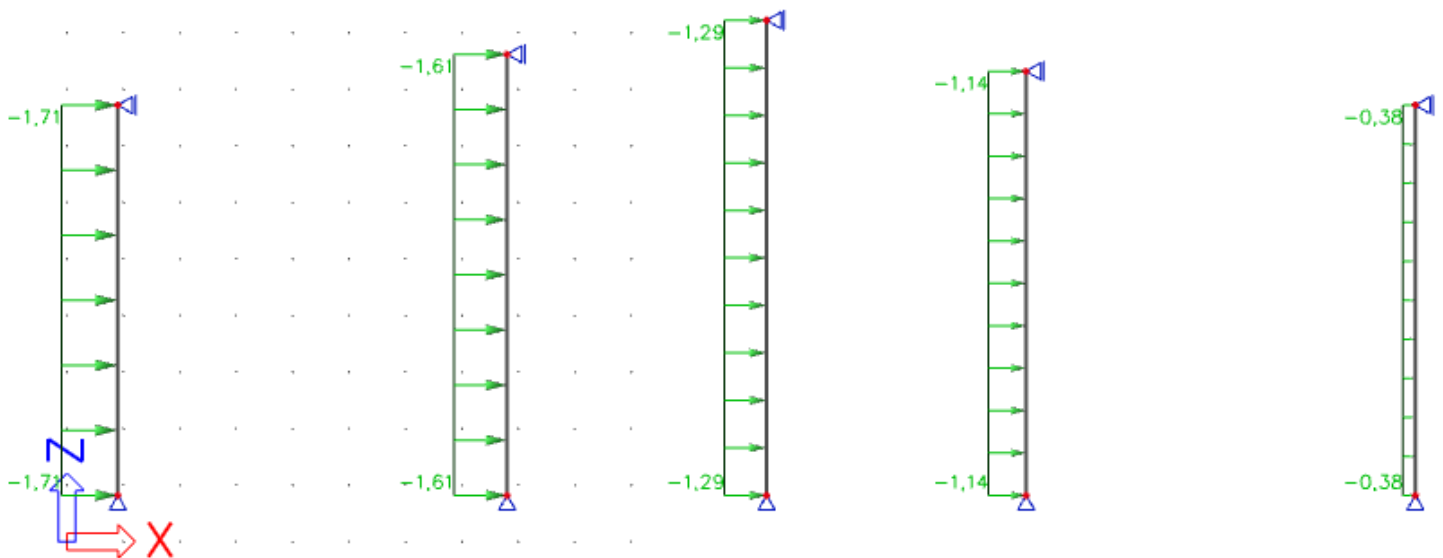
1. Kombinacija:

| ZABATNI STUP | w [kN/m ²] | UTJECAJNA ŠIRINA | w [kN/m'] |
|--------------|------------------------|------------------|-----------|
| 1 | -0,78 | 3,36 | -2,67 |
| | -0,56 | 0,09 | |
| 2 | -0,56 | 3,45+2,3 | -3,22 |
| 3 | -0,56 | 4,6 | -2,58 |
| 4 | -0,56 | 2,3+0,7 | -2,75 |
| | -0,39 | 2,75 | |
| 5 | -0,39 | 3,45 | -1,35 |



2. Kombinacija:

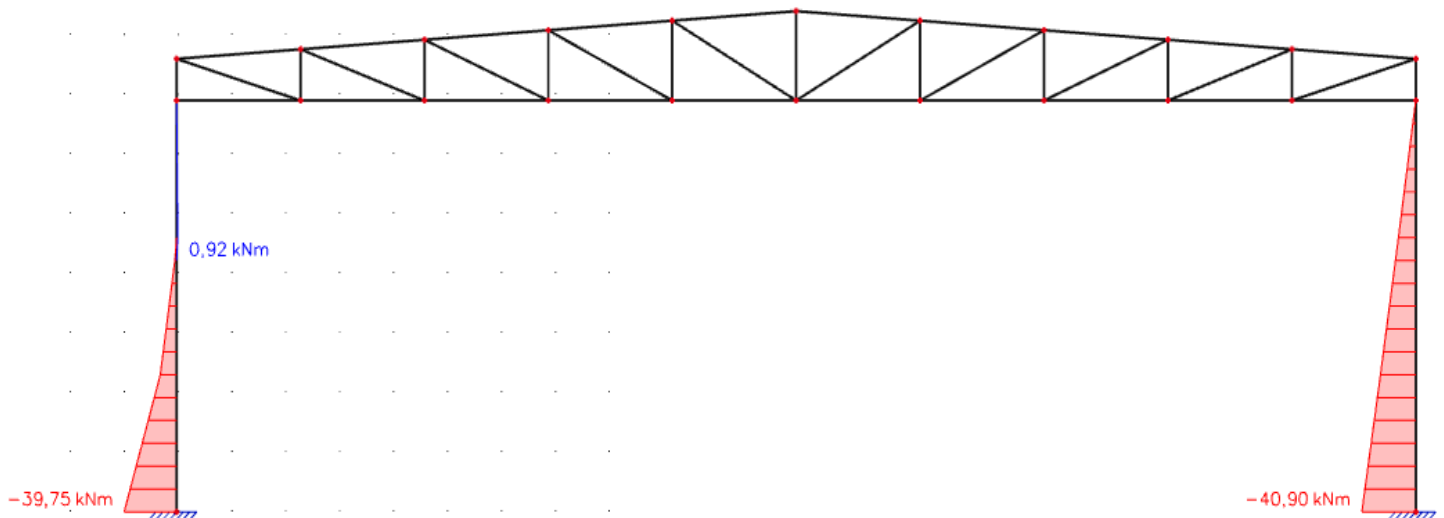
| ZABATNI STUP | w [kN/m ²] | UTJECAJNA ŠIRINA | w [kN/m'] |
|--------------|------------------------|------------------|-----------|
| 1 | -0,50 | 3,36 | -1,71 |
| | -0,28 | 0,09 | |
| 2 | -0,28 | 3,45+2,3 | -1,61 |
| 3 | -0,28 | 4,6 | -1,29 |
| 4 | -0,28 | 2,3+0,7 | -1,14 |
| | -0,11 | 2,75 | |
| 5 | -0,11 | 3,45 | -0,38 |



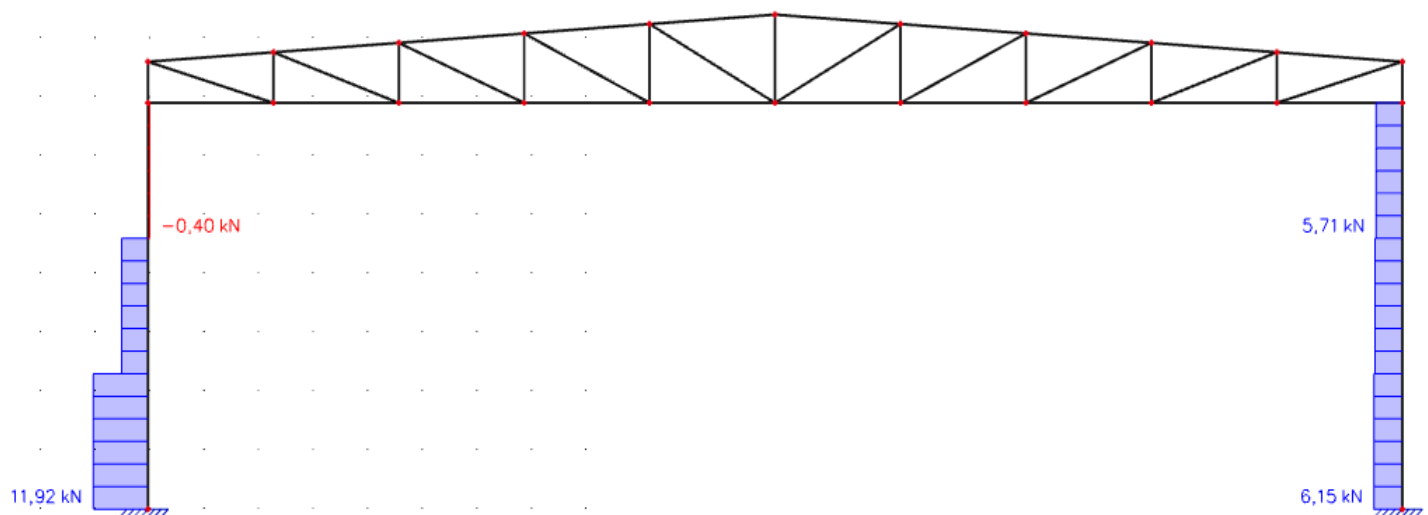
3 GRANIČNO STANJE UPORABE

3.1 Dijagrami reznih sila

3.1.1 Prva kombinacija: 1G+1S+1W₁

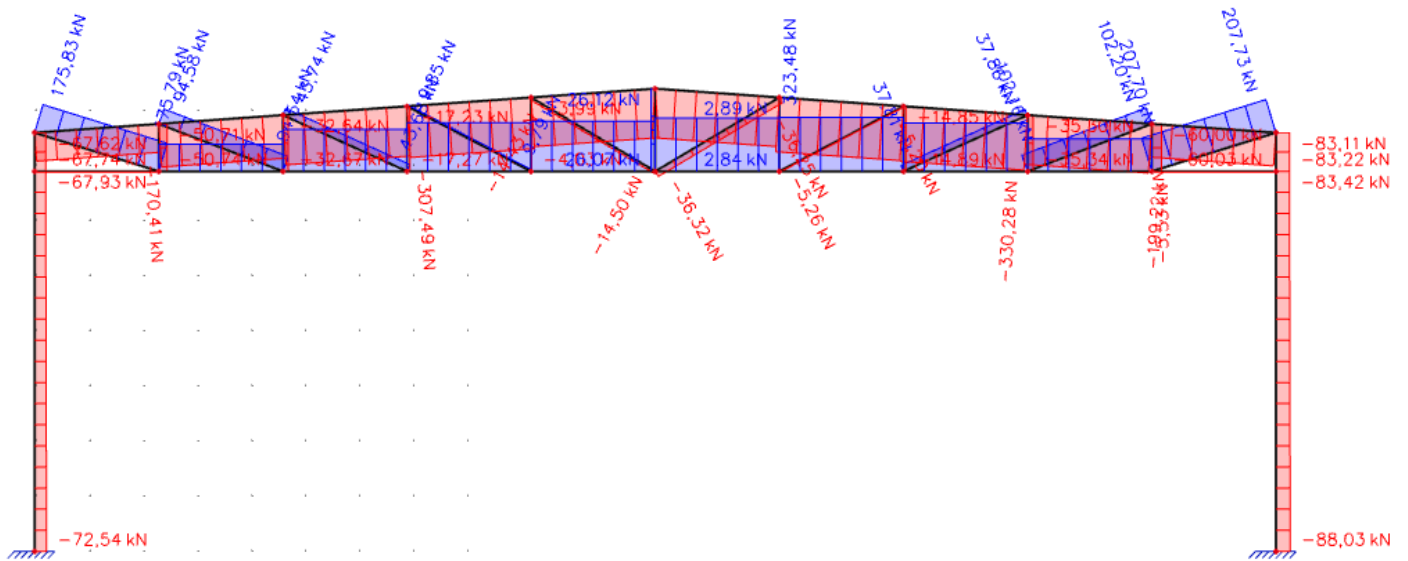


Slika 3.1.1.1. Dijagram momenata



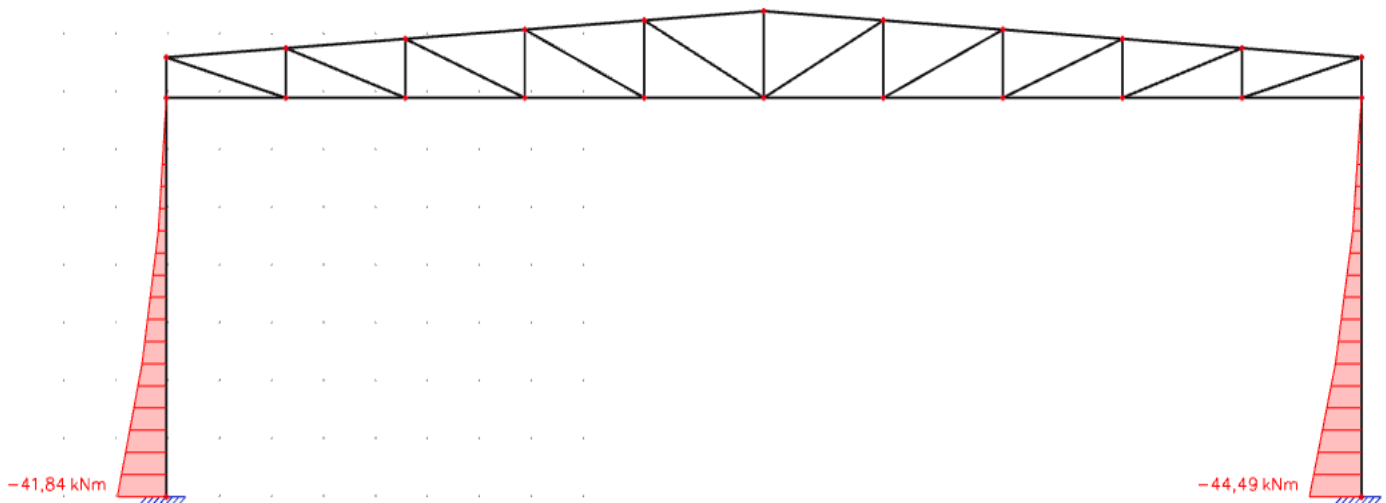
Slika 3.1.1.2. Dijagram poprečnih sila

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE



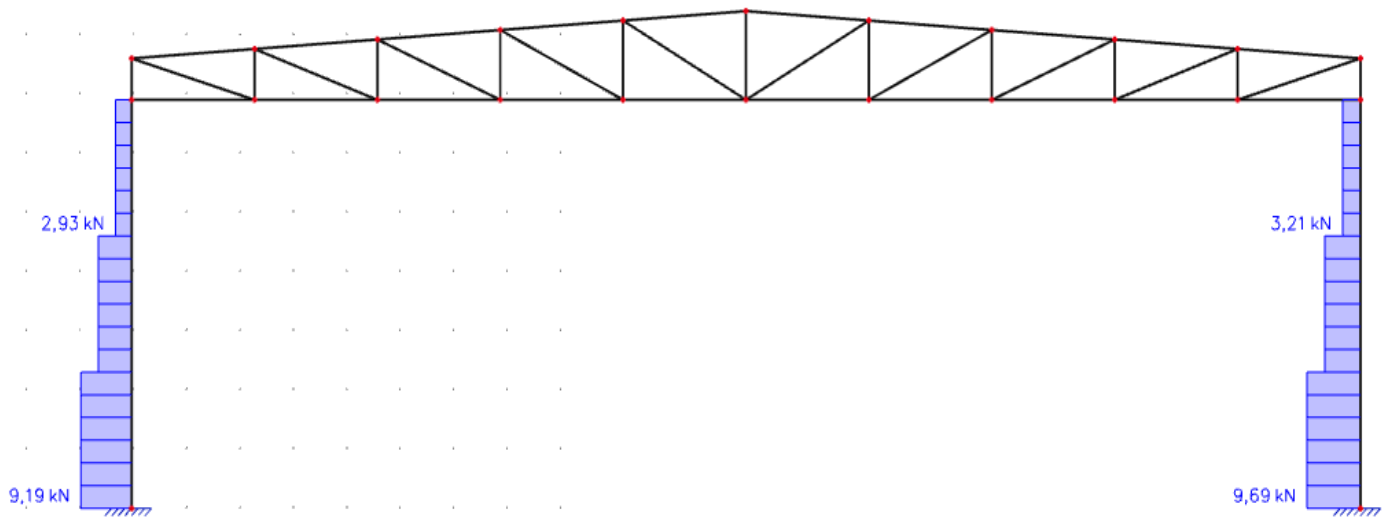
Slika 3.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila

3.1.2 Druga kombinacija: 1G+1W₂

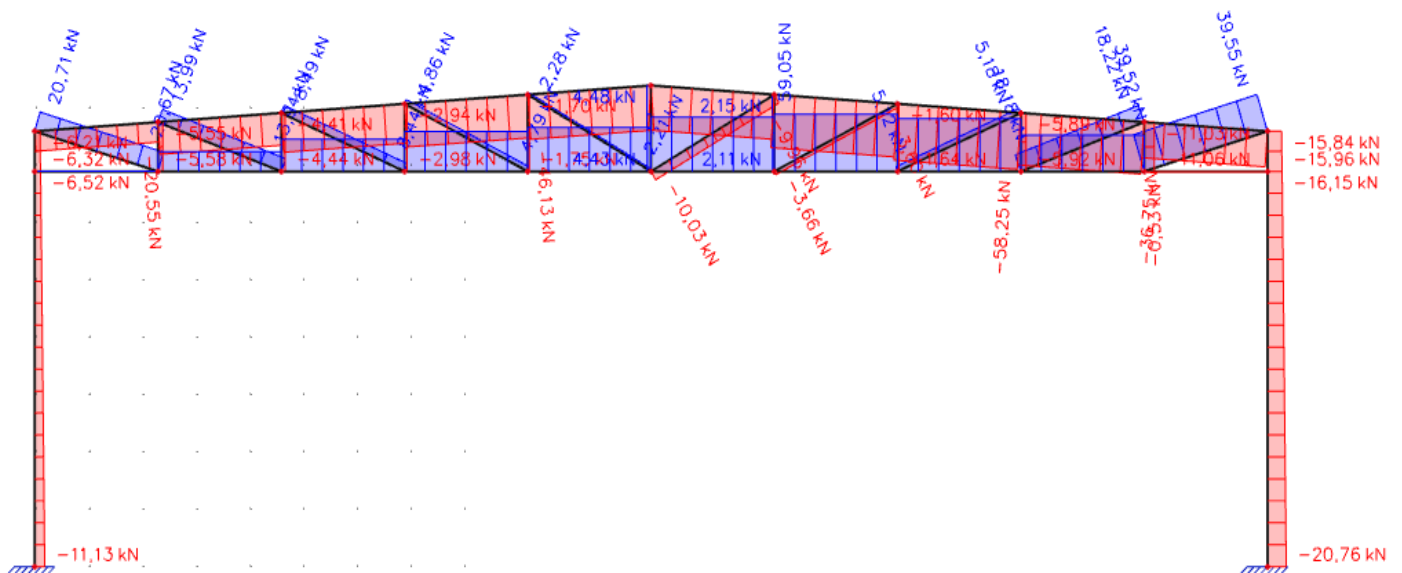


Slika 3.1.2.1. Dijagram momenata

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE



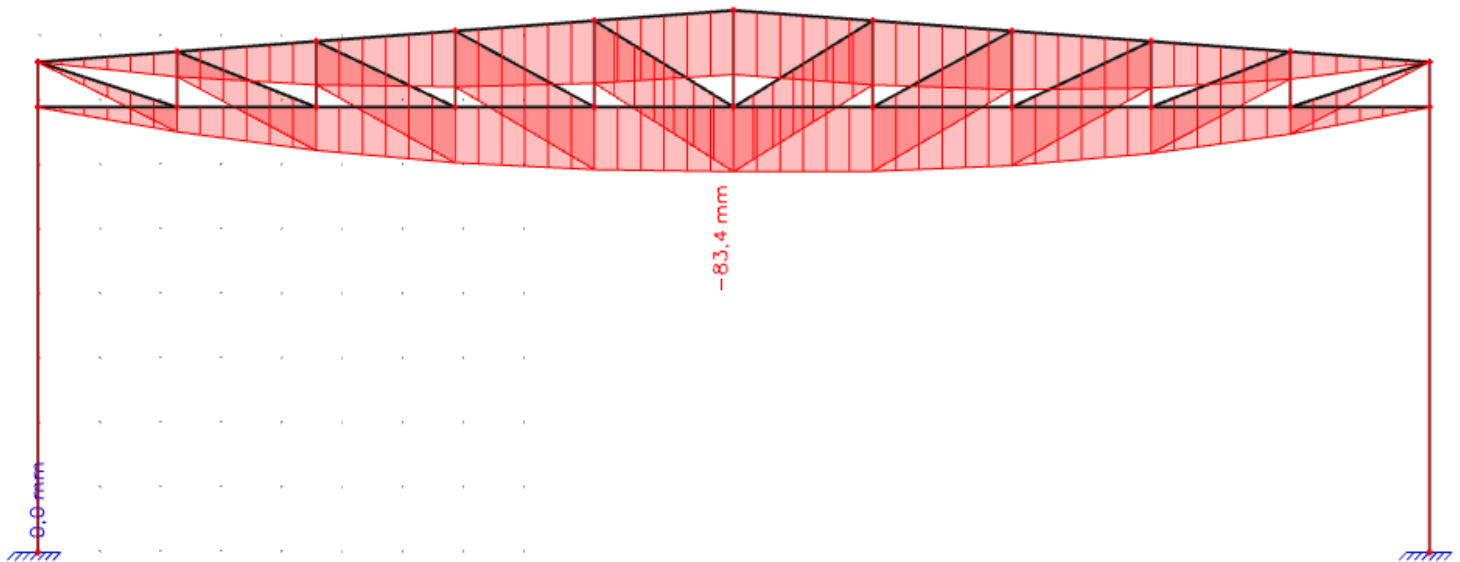
Slika 3.1.2.2. Dijagram poprečnih sila



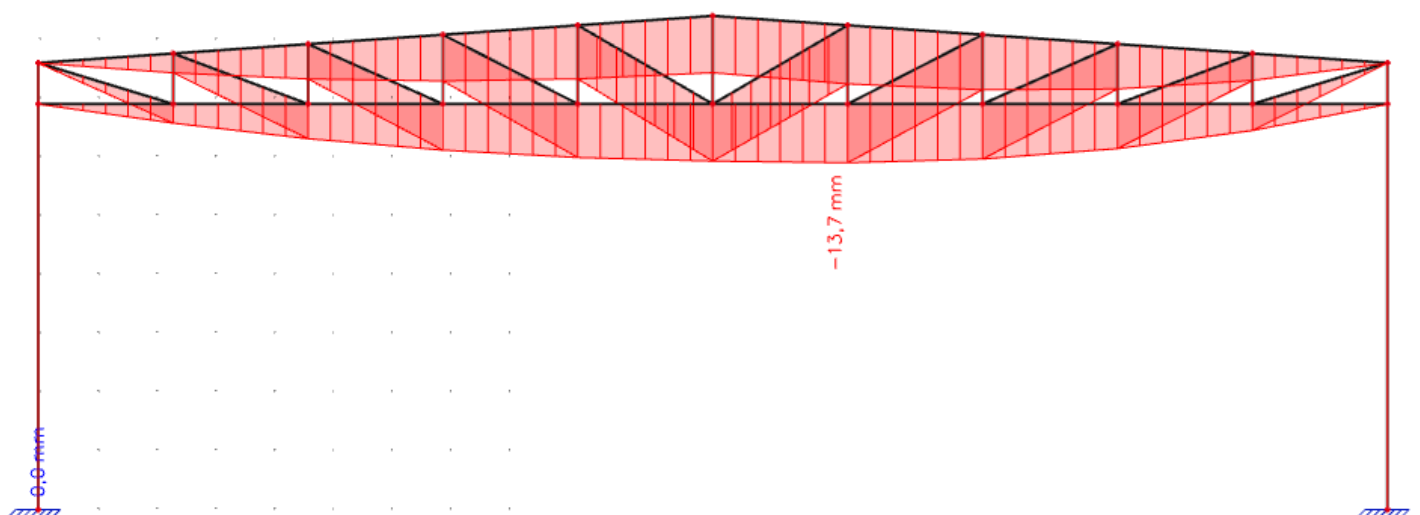
Slika 3.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila

3.2 Kontrola progiba

3.2.1 Vertikalni progibi



Slika 3.2.1.1. Vertikalni progib glavnog nosača uslijed prve kombinacije djelovanja



Slika 3.2.2.2. Vertikalni progib glavnog nosača uslijed druge kombinacije djelovanja

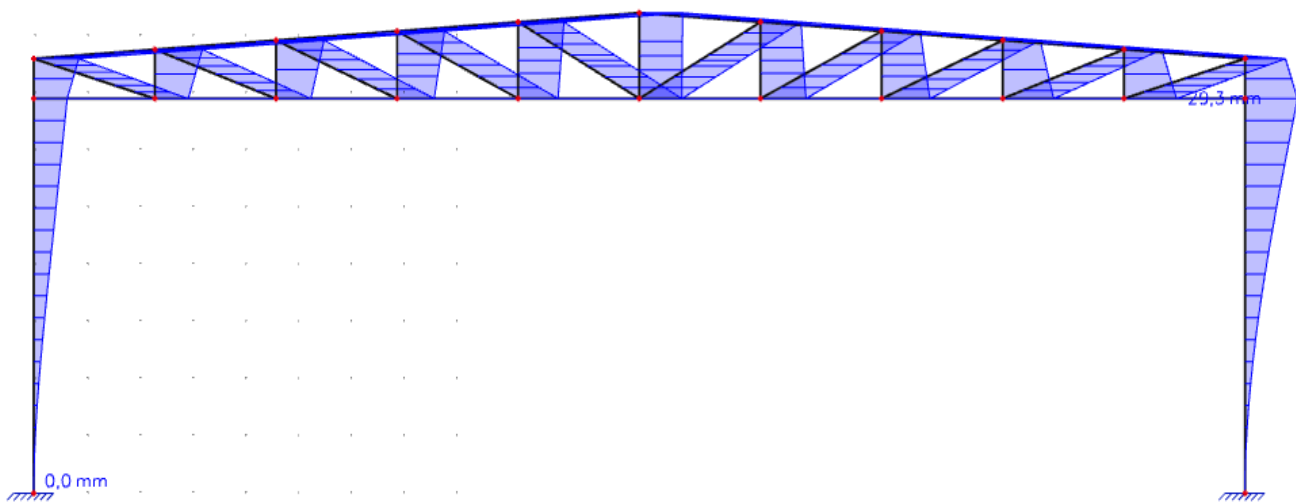
Najveći progib krovišta dobivamo za prvu kombinaciju $1,0 \cdot G + 1,0 \cdot S + 1,0 \cdot W_1$

Dopušteni progib: $L/250 = 23000\text{mm}/250 = 92\text{ mm}$

$83,4/92 = 0,9065 = 90,65\%$

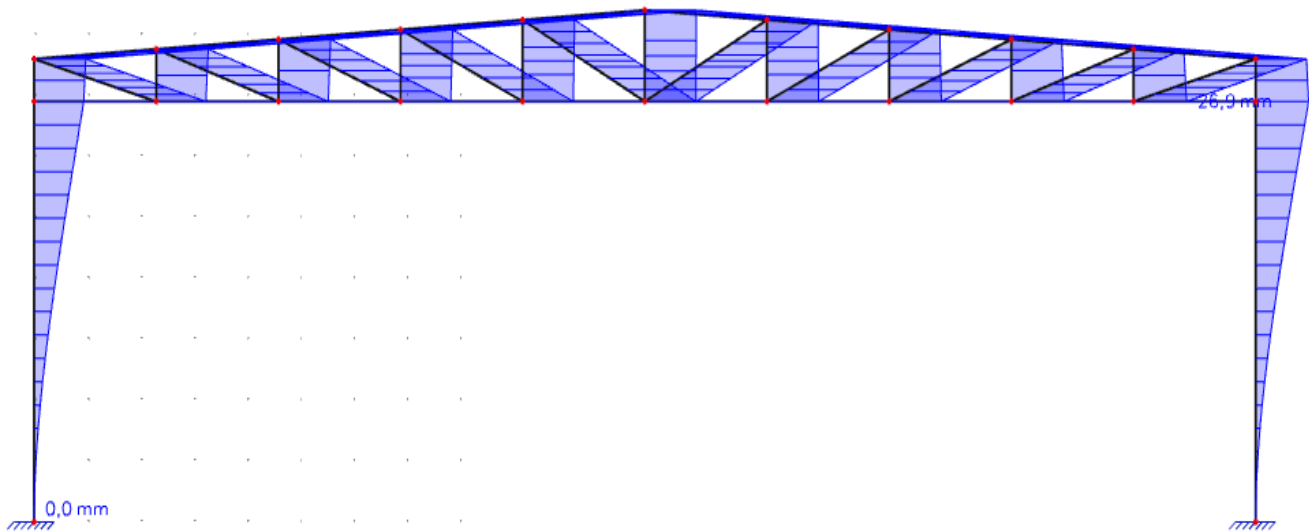
Najveći progib krovišta, u odnosu na dopušteni, zadovoljava s iskoristivosti od 90,65%.

3.2.2 Horizontalni pomak



Slika 3.2.2.1. Horizontalni pomak glavnog nosača uslijed prve kombinacije djelovanja

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE



Slika 3.2.2.2. Horizontalni pomak glavnog nosača uslijed druge kombinacije djelovanja

Najveći horizontalni pomak dobivamo za kombinaciju $1,0 \cdot G + 1,0 \cdot S + 1,0 \cdot W_1$

Dopušteni pomak: $H/200 = 6900\text{mm}/200 = 34,5\text{ mm}$

$$29,3/34,5 = 0,8493 = 85,93\%$$

Najveći pomak stupa, u odnosu na dopušteni, zadovoljava s iskoristivosti od 85,93%.

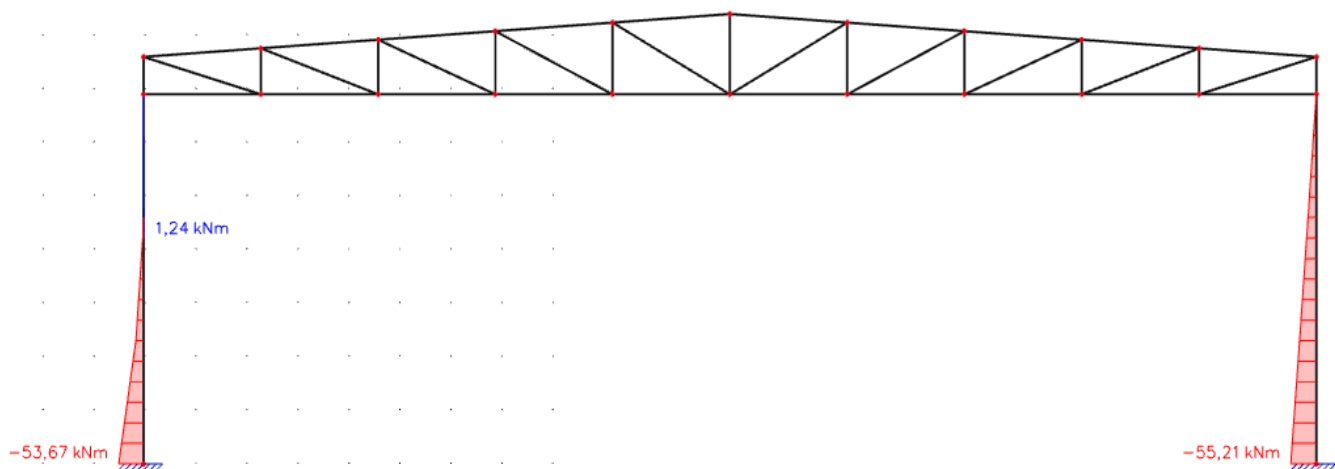
Usvojeni profili:

- 1) Stupovi: HEA 260
- 2) Rešetkasta konstrukcija:
 - a) vertikale: SHS 40/40/3.0
 - b) dijagonale: SHS 60/60/3.0
 - c) gornji pojas: SHS 140/140/4.0
 - d) donji pojas: SHS 140/140/4.0
- 3) Dijagonale krovnih spregova: RD 12
- 4) Dijagonale bočnih spregova: RD12
- 5) Krovna podrožnica: IPE 300
- 6) Bočna podrožnica: IPE 300

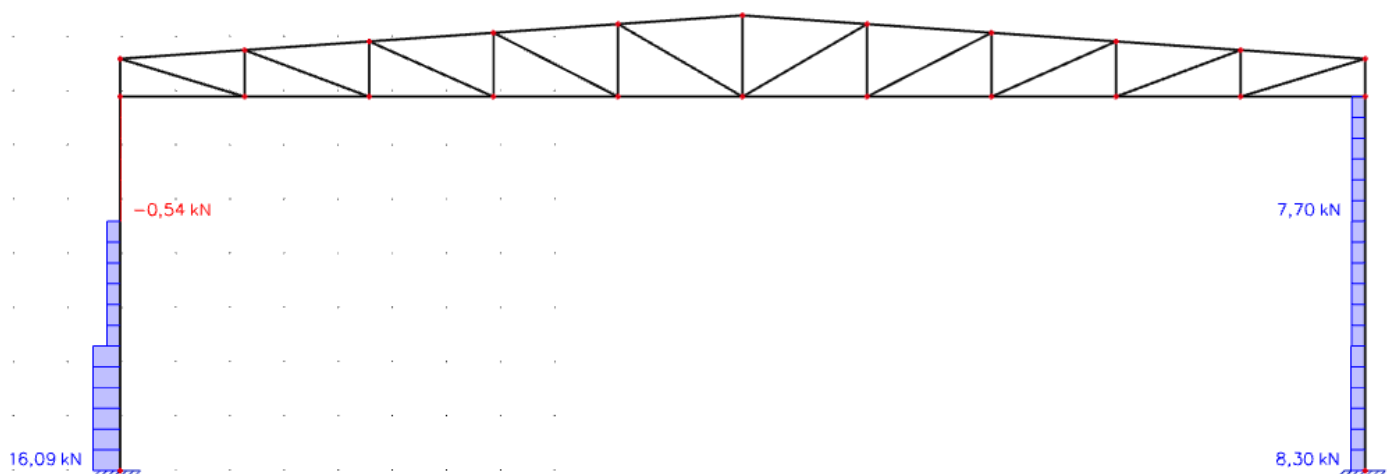
4 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

4.1 Dijagrami reznih sila

4.1.1 Prva kombinacija: $1,35G+0,9*1,5(S+W_1)$

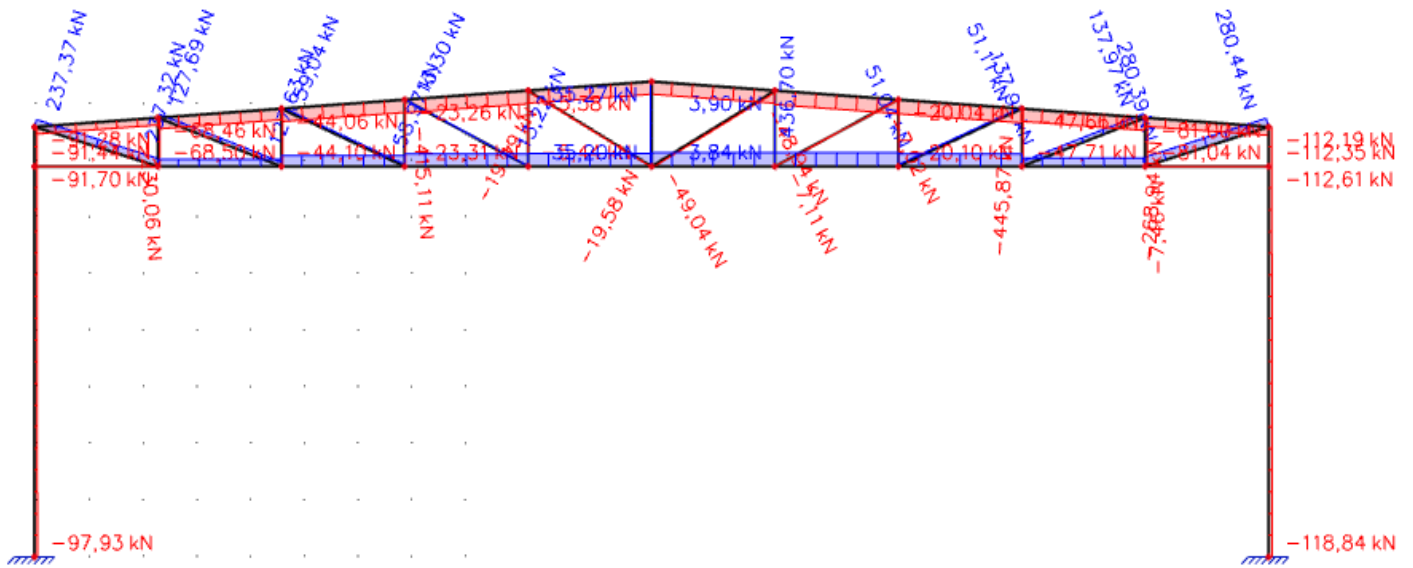


Slika 4.1.1.1. Dijagram momenata



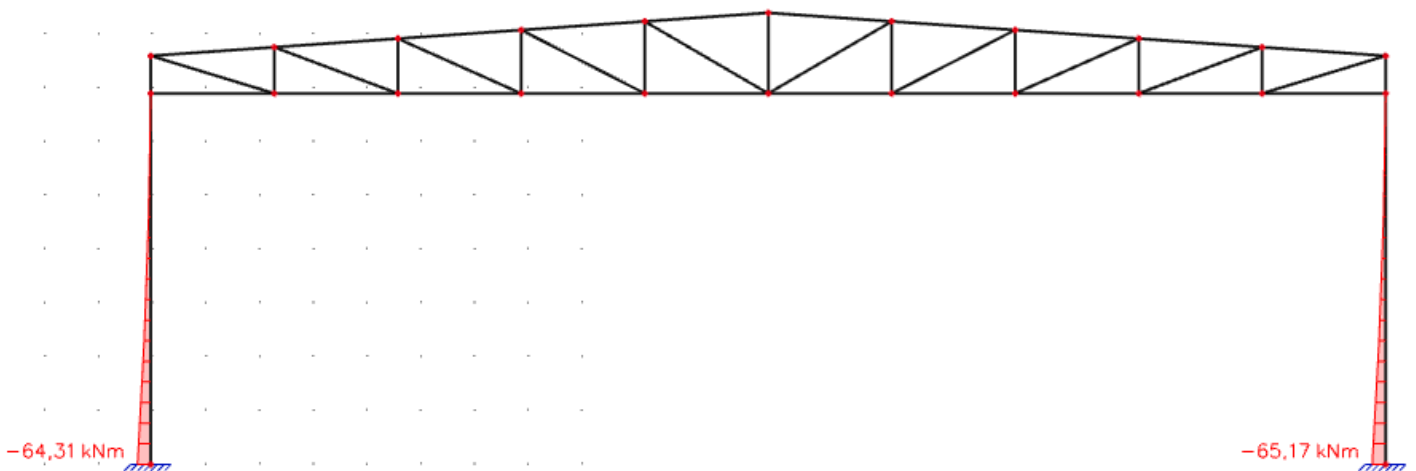
Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE



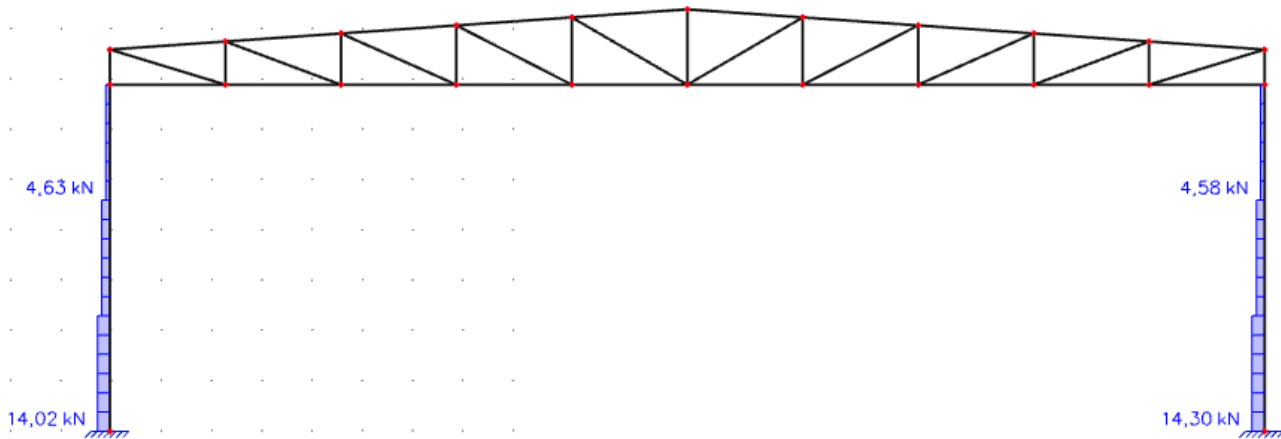
Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila

4.1.2 Druga kombinacija: 1G+1W2

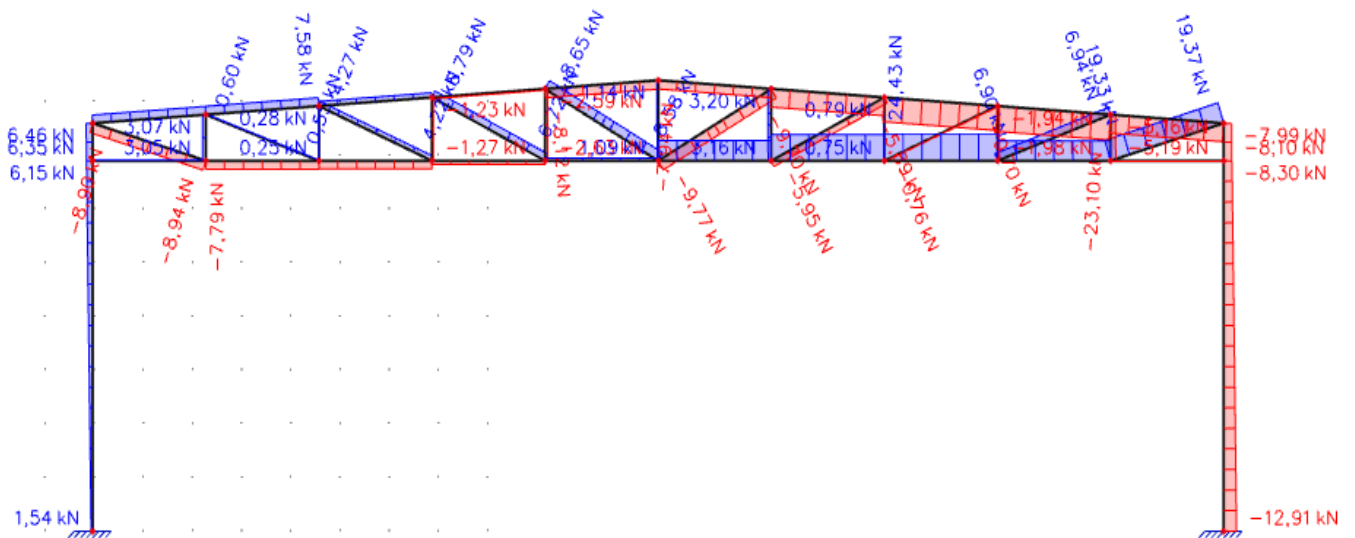


Slika 4.1.2.1. Dijagram momenata

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

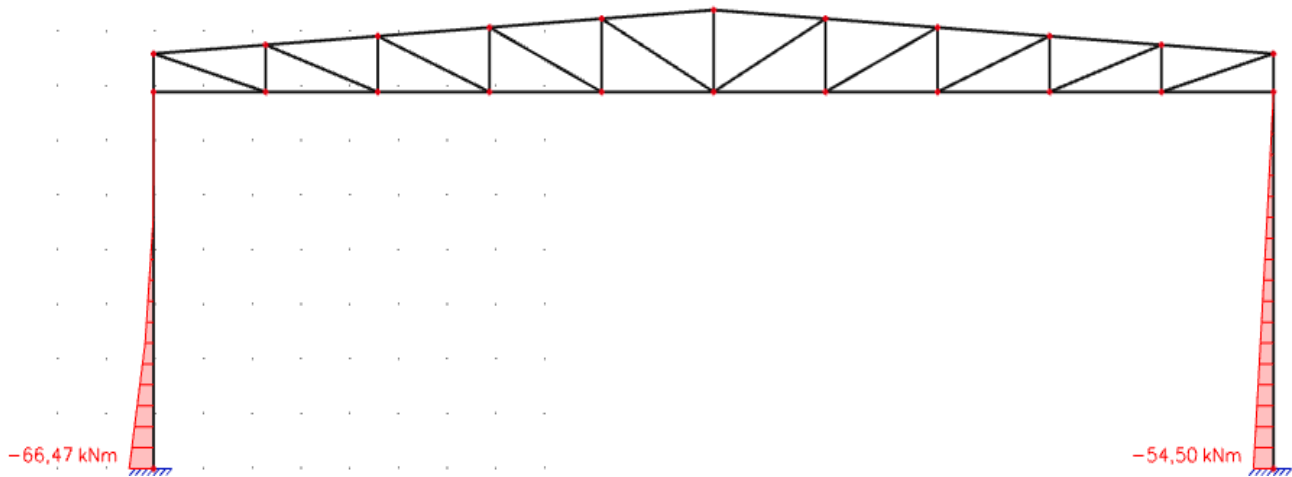


Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila

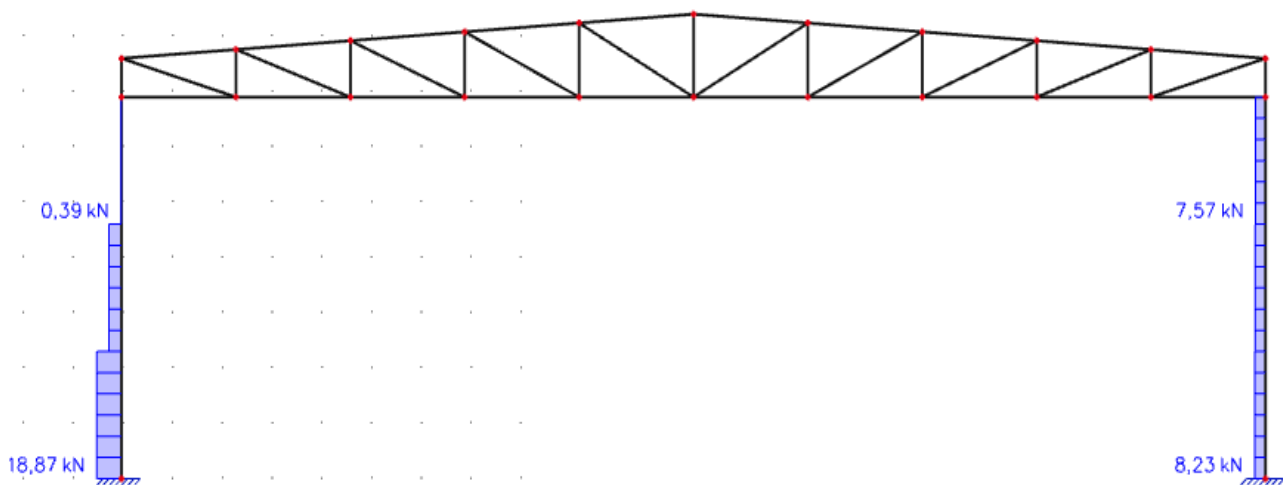


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila

4.1.3 Treća kombinacija: $1,35G+1,5W_1$

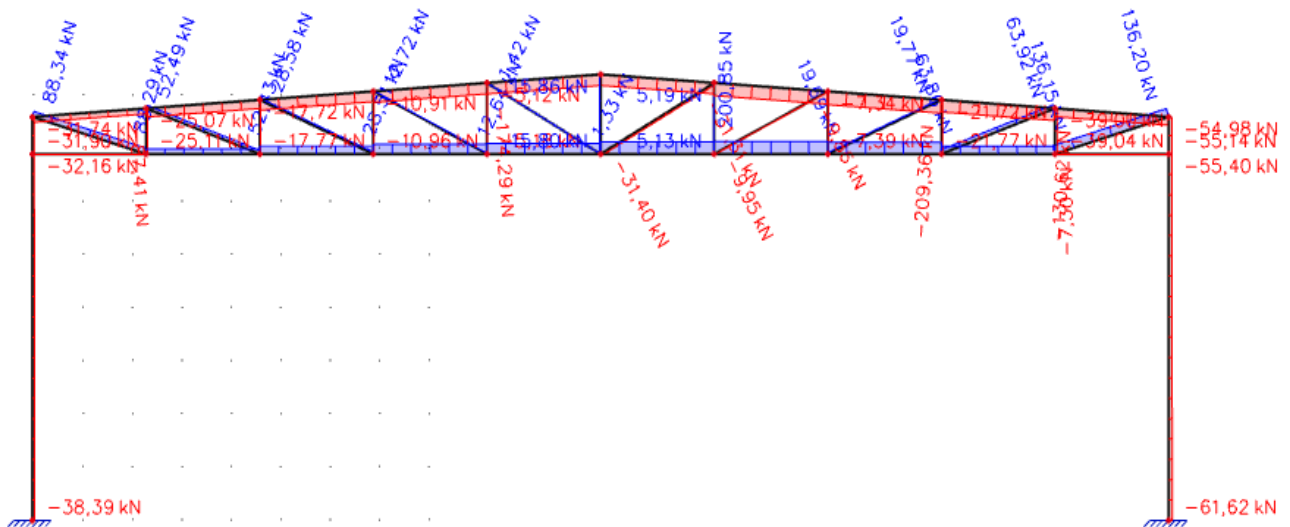


Slika 4.1.3.1. Dijagram momenata



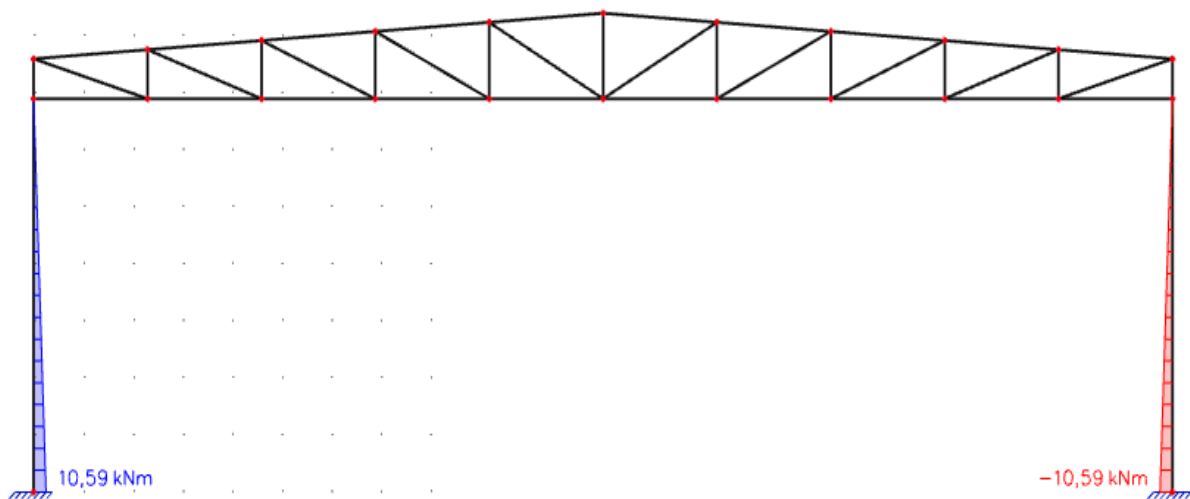
Slika 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE



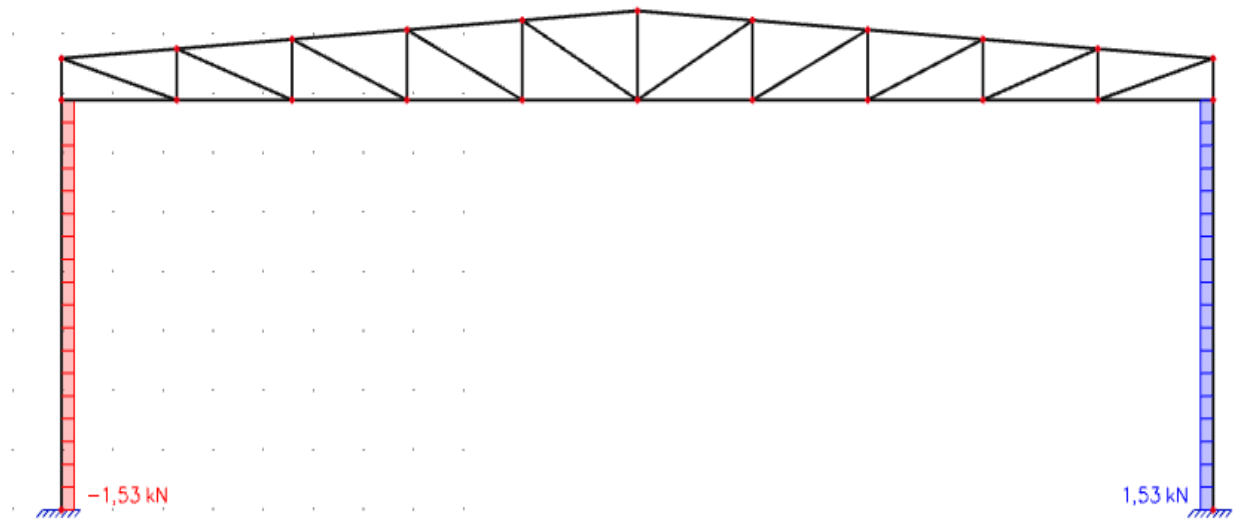
Slika 4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila

4.1.4 Četvrta kombinacija: 1,35G+1,5S

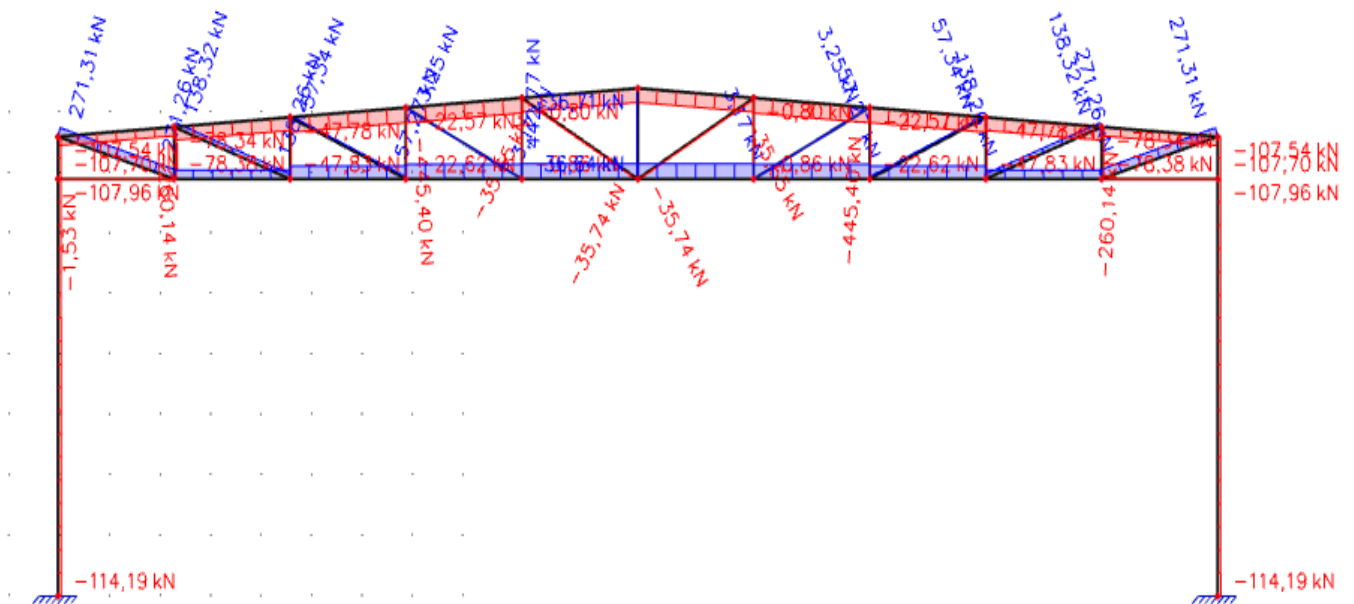


Slika 4.1.4.1. Dijagram momenata

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

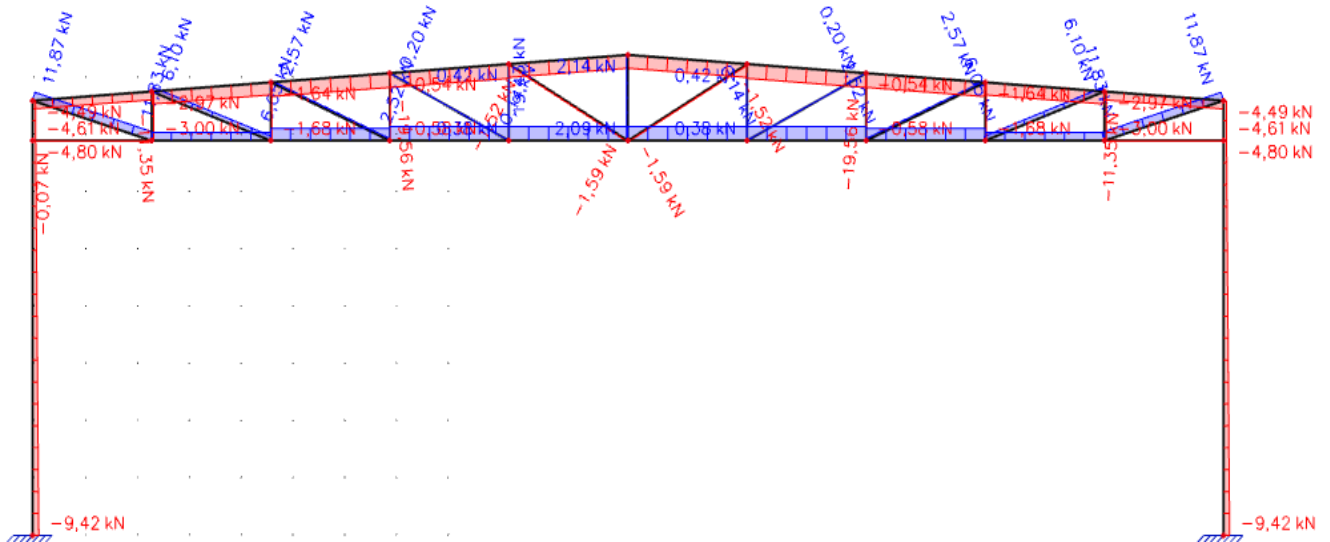


Slika 4.1.4.2. Dijagram poprečnih sila

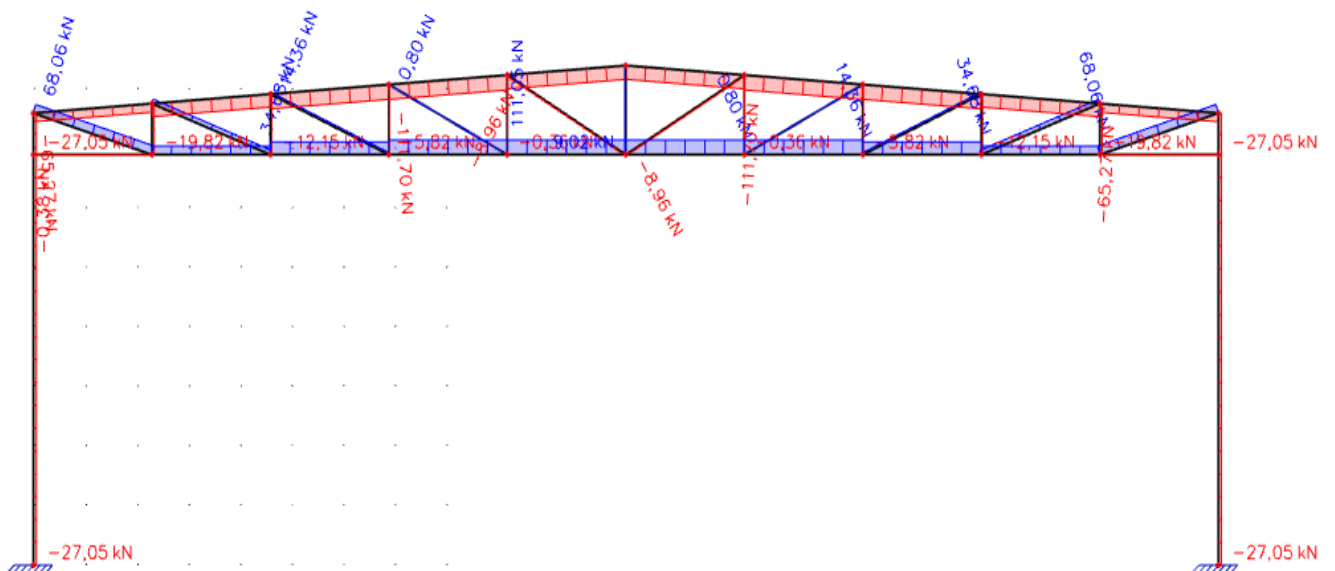


Slika 4.1.4.3. Dijagram uzdužnih sila

4.2 Glavni okvir

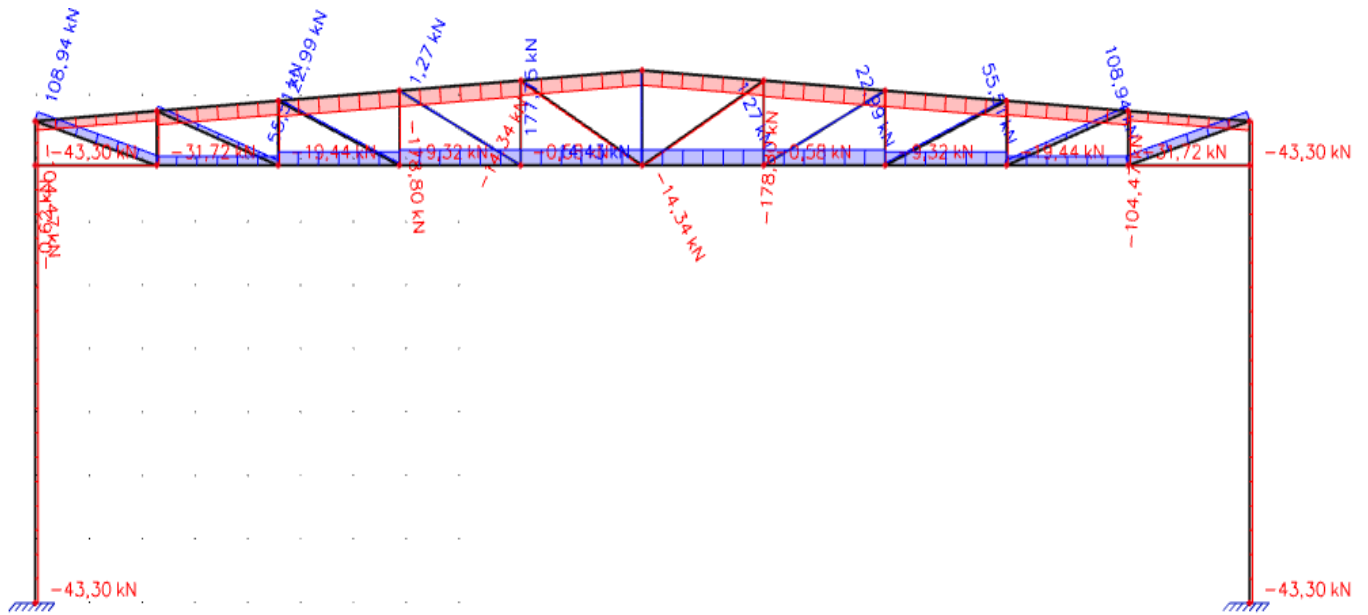


Slika 4.2.1. Dijagram uzdužnih sila uslijed vlastite težine

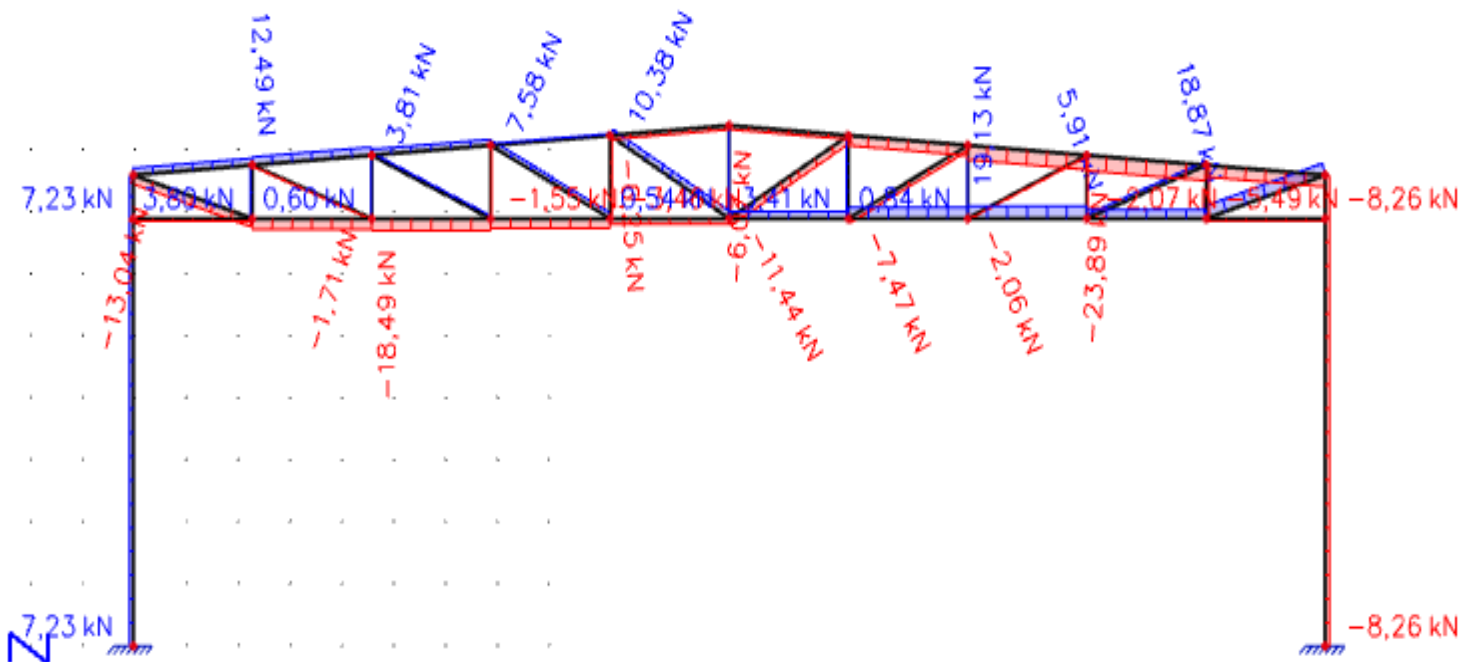


Slika 4.2.2. Dijagram uzdužnih sila uslijed dodatne težine

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

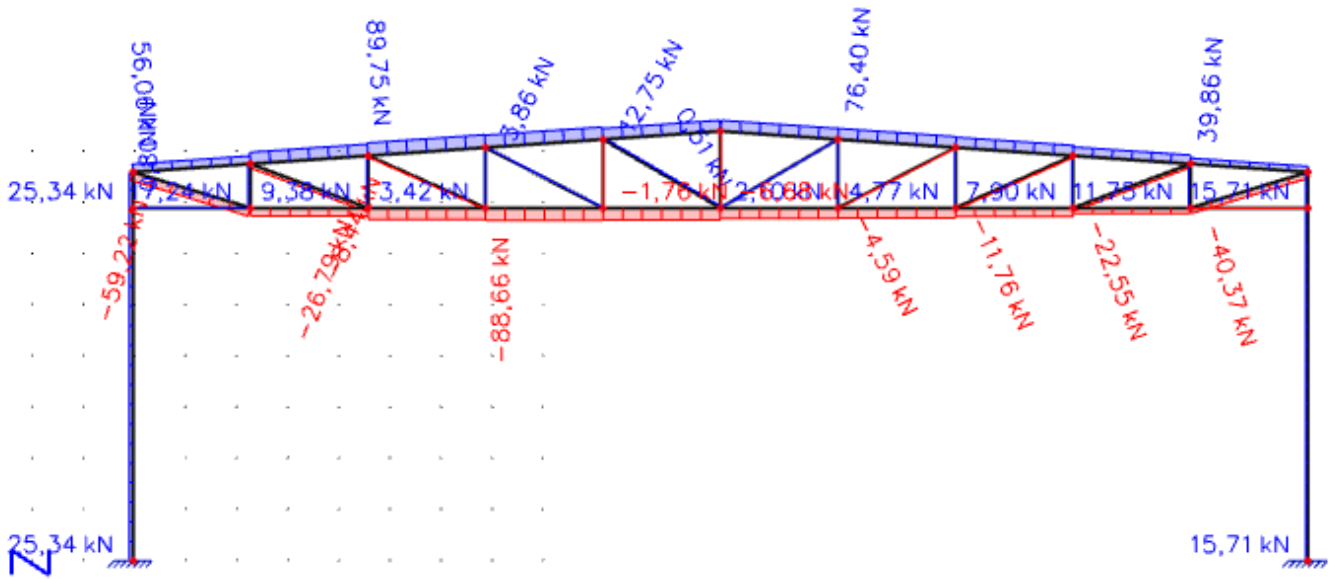


Slika 4.2.3. Dijagram uzdužnih sila uslijed opterećenja snijegom

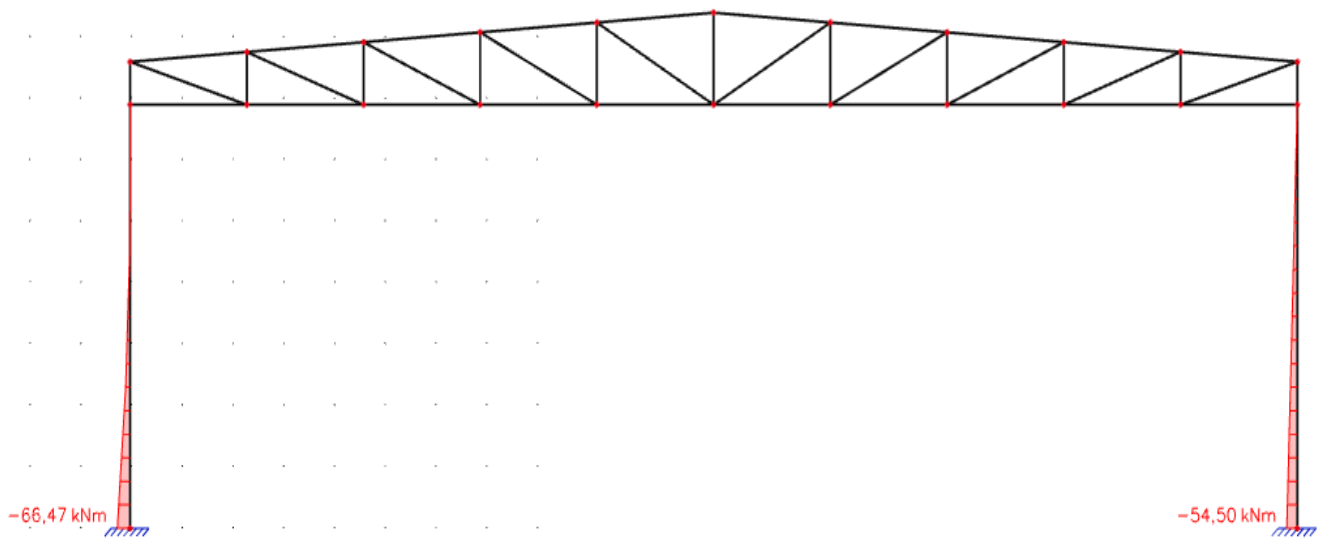


Slika 4.2.4. Dijagram uzdužnih sila uslijed opterećenja vjetrom W_1

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

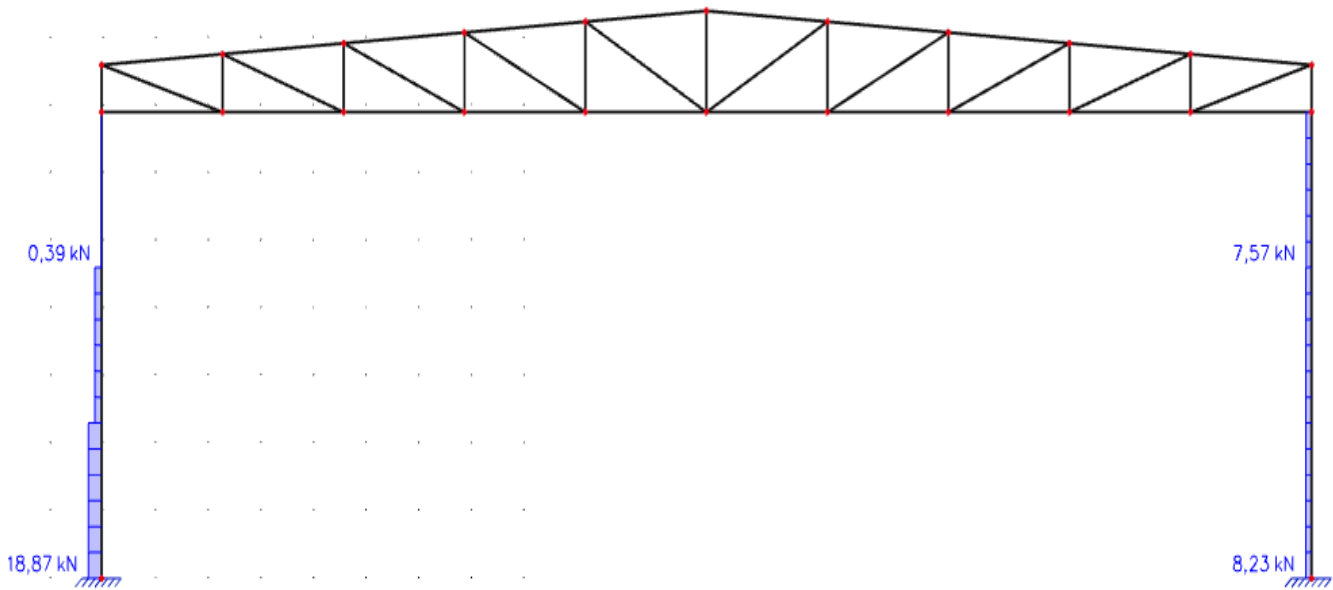


Slika 4.2.5. Dijagram uzdužnih sila uslijed opterećenja vjetrom W_2

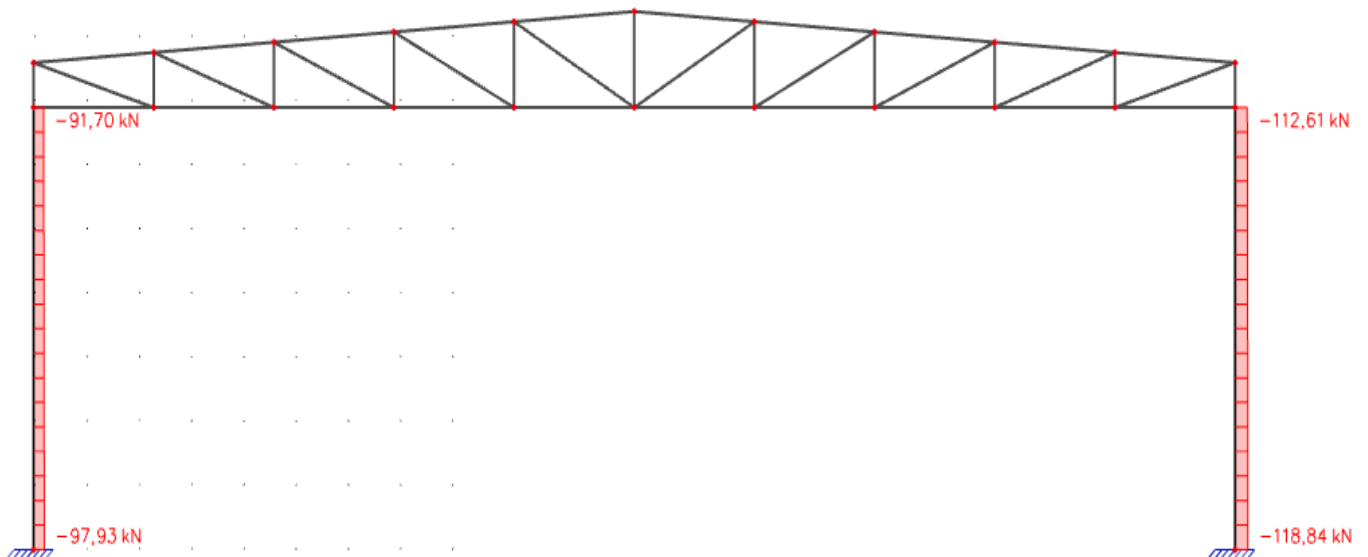


Slika 4.2.6. Dijagram momenata u stupovima za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W_1$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

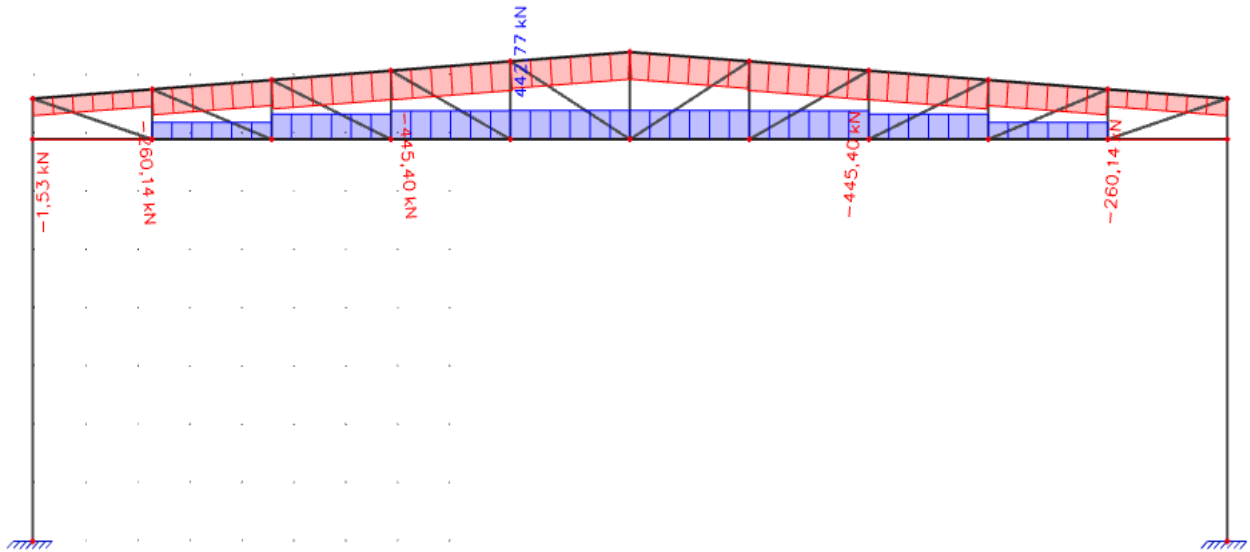


Slika 4.2.7. Dijagram poprečnih sila u stupovima za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W_1$

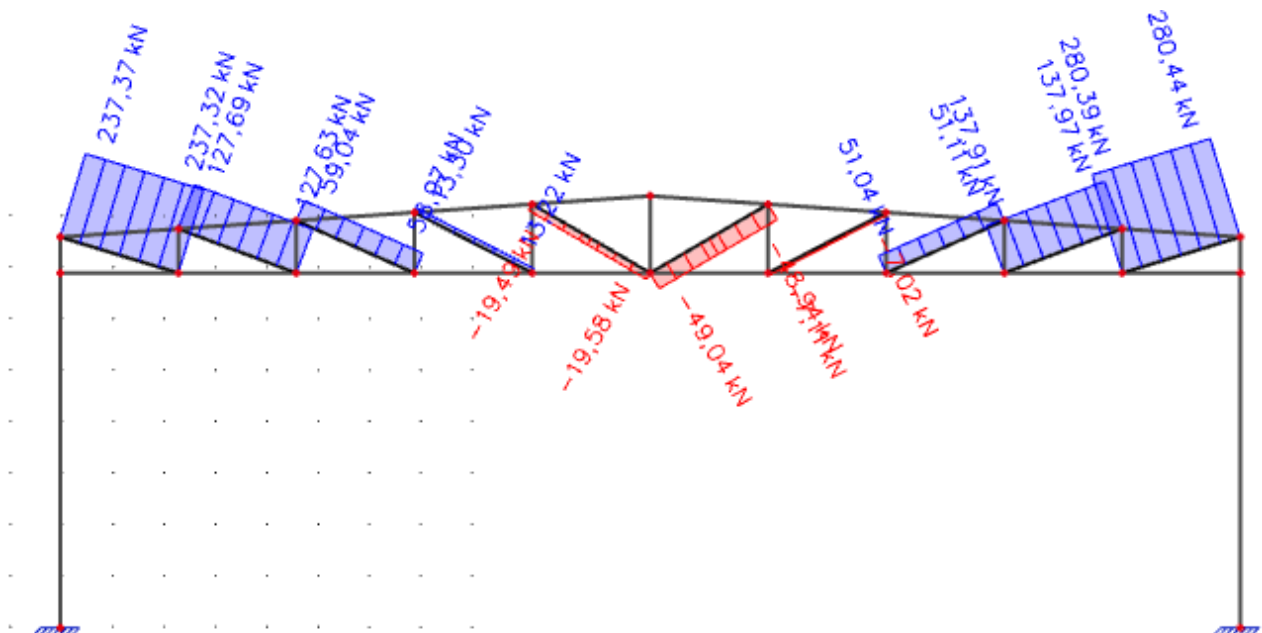


Slika 4.2.8. Dijagram uzdužnih sila u stupovima za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,35S+1,35W_1$

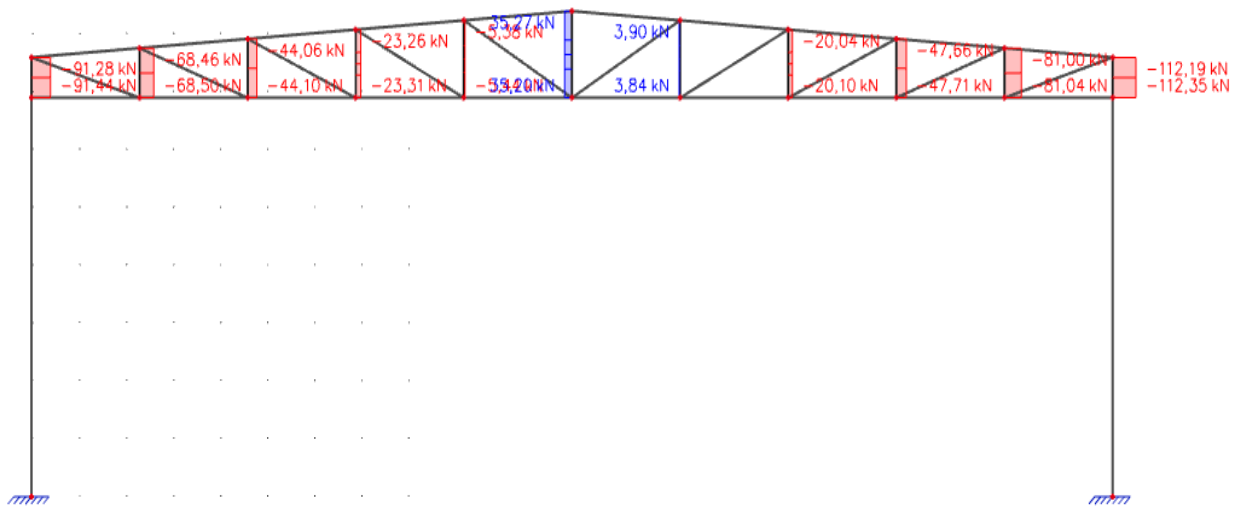
KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE



Slika 4.2.9. Dijagram uzdužnih sila u gornjem i donjem pojasu za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5S$

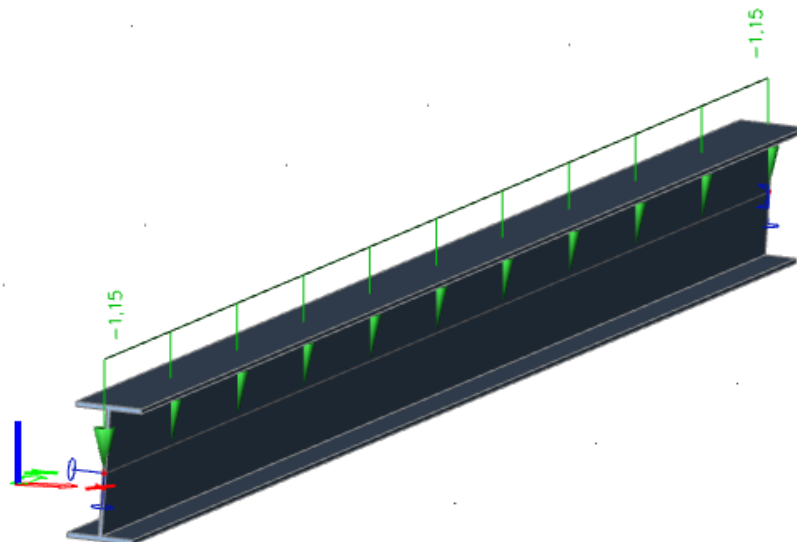


Slika 4.2.10. Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,35S+1,35W_1$

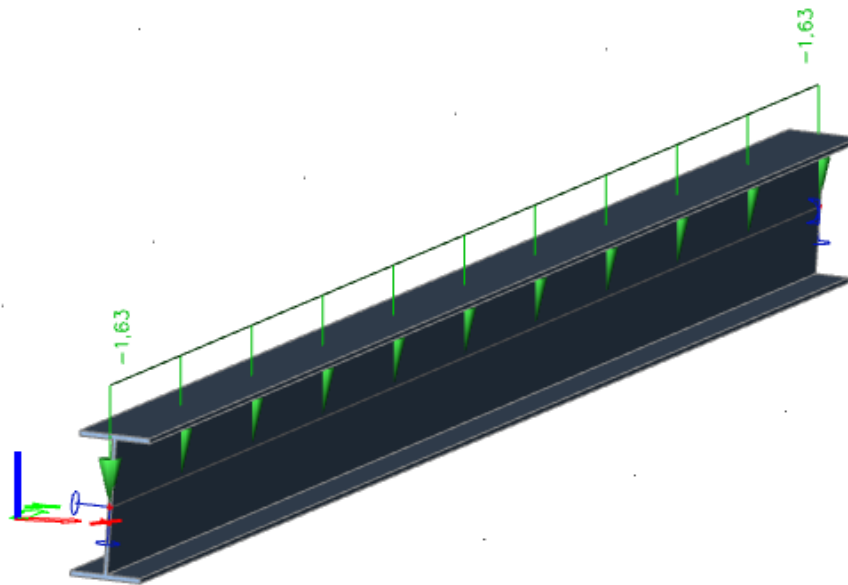


*Slika 4.2.11. Dijagram uzdužnih sila u vertikalama za kritičnu kombinaciju
 $1,35G+1,35S+1,35W_1$*

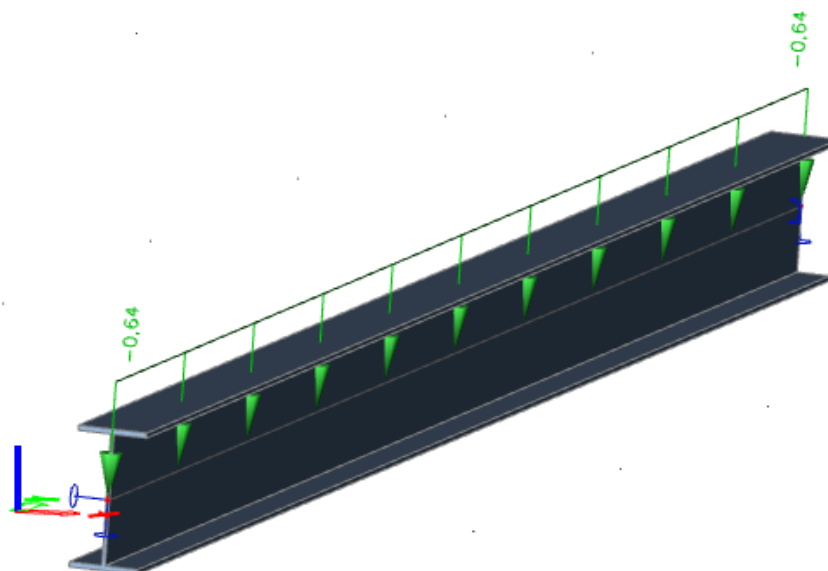
4.3 Krovna podrožnica



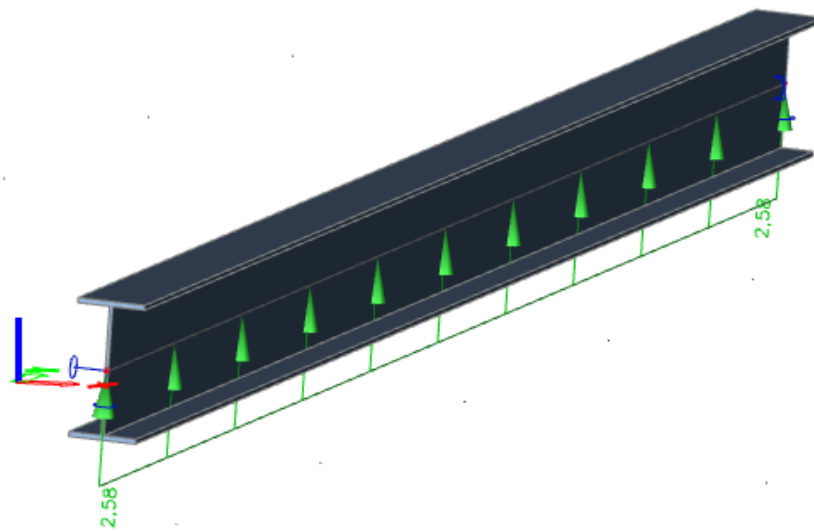
Slika 4.3.1. opterećenje dodatnom težinom na krovnoj podrožnici



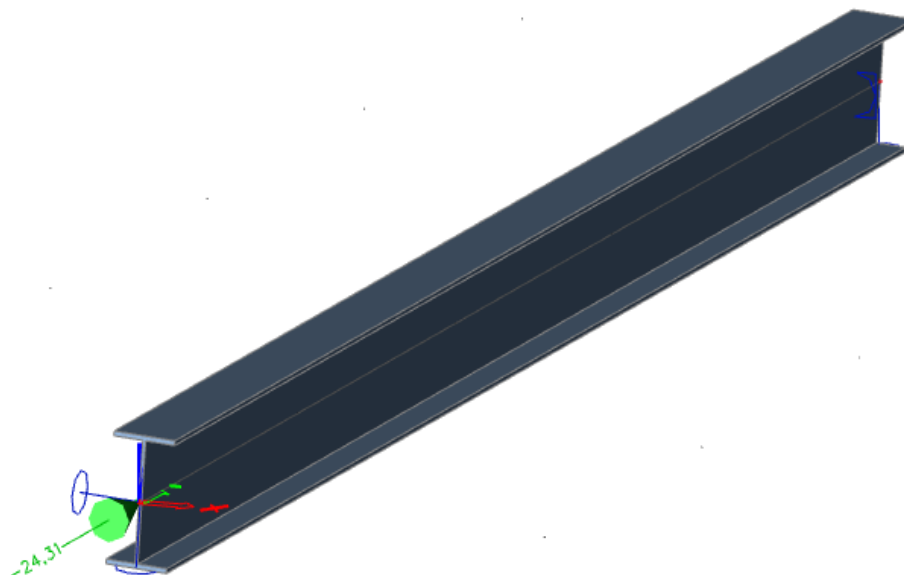
Slika 4.3.2. opterećenje snijegom na krovnoj podrožnici



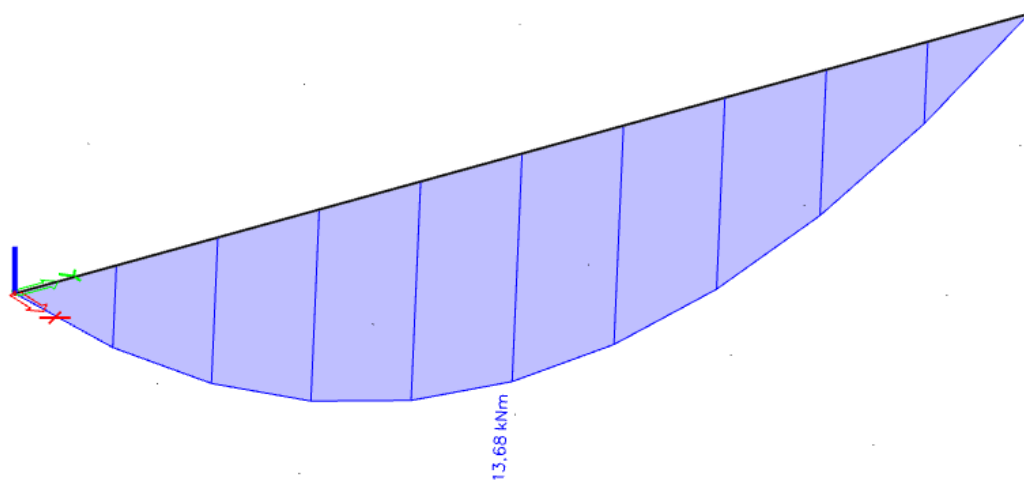
Slika 4.3.3. opterećenje pritiskajućim vjetrom W_1 na krovnoj podrožnici



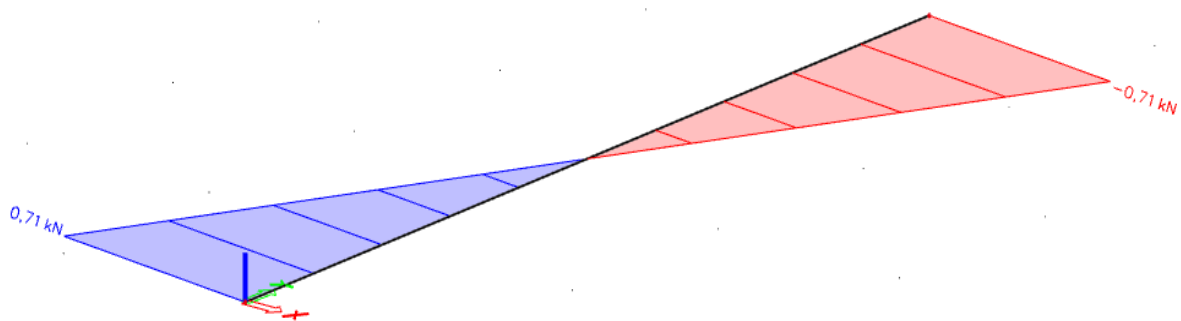
Slika 4.3.4. opterećenje odižućim vjetrom w_2 na krovnoj podrožnici



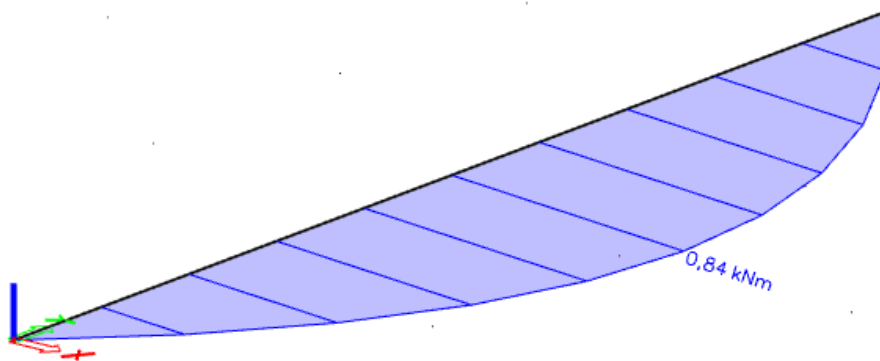
Slika 4.3.5. reakcija od krovnog sprega na krovnoj podrožnici



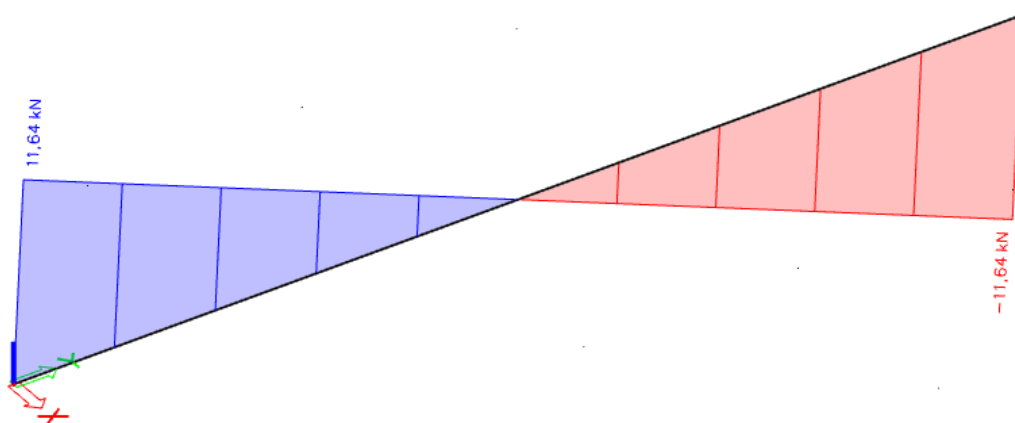
Slika 4.3.6. Dijagram momenata M_y oko y osi za kritičnu kombinaciju $1,35G*1,35S+1,35W_1$



Slika 4.3.7. Dijagram poprečnih sila V_y za kritičnu kombinaciju $1,35G*1,5S$

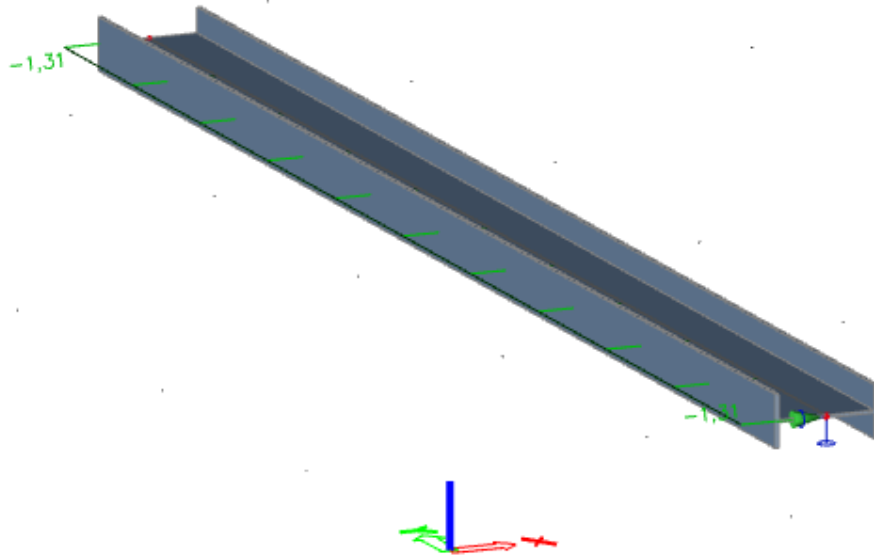


Slika 4.3.8. Dijagram momenata M_z za kritičnu kombinaciju $1,35G*1,5S$

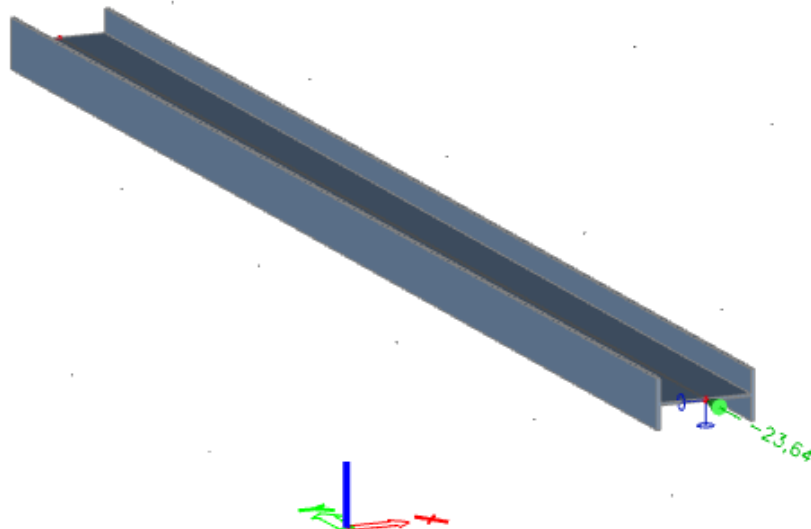


Slika 4.3.9. Dijagram poprečnih sila V_z za kritičnu kombinaciju $1,35G*1,35S+1,35W_1$

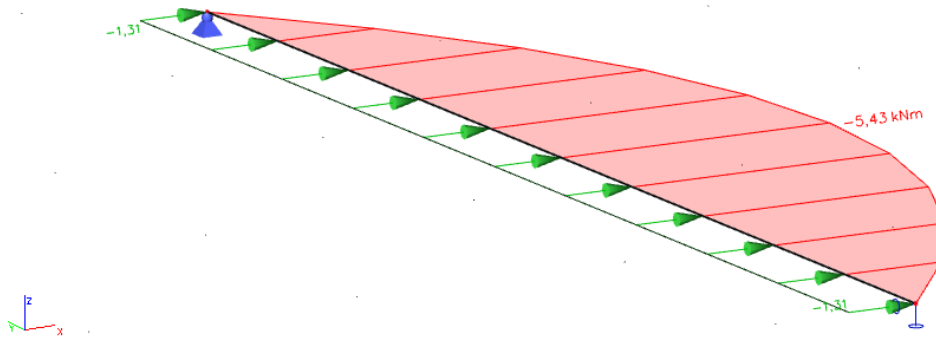
4.4 Bočna podrožnica



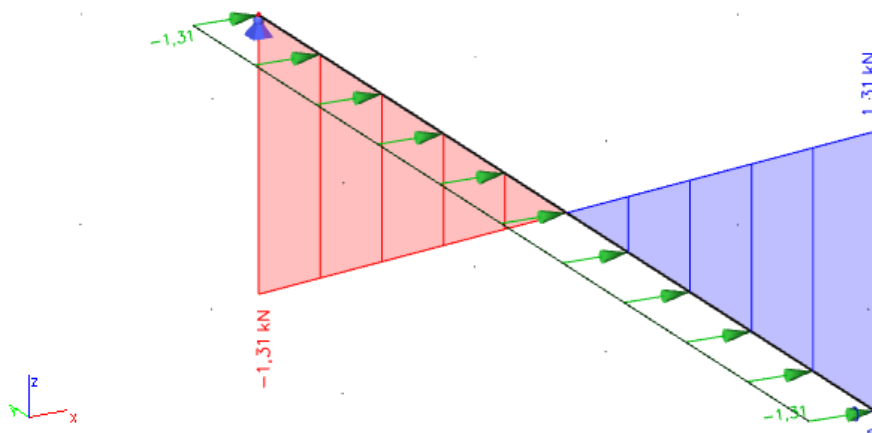
Slika 4.4.1. Opterećenje vjetrom na bočnoj podrožnici



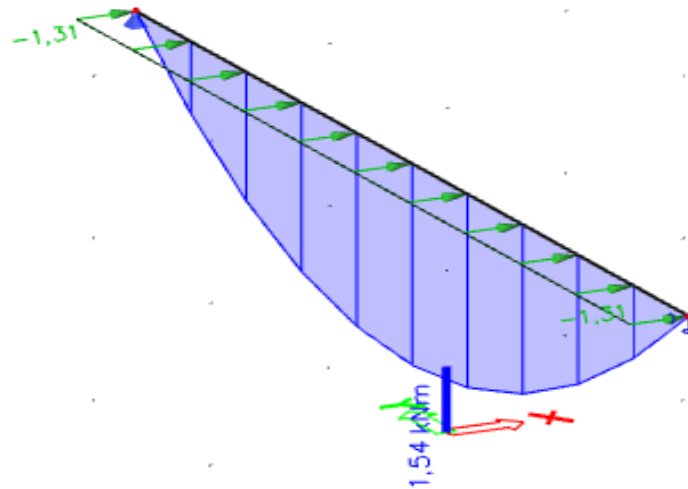
Slika 4.4.2. Reakcija od bočnih spregova na bočnoj podrožnici



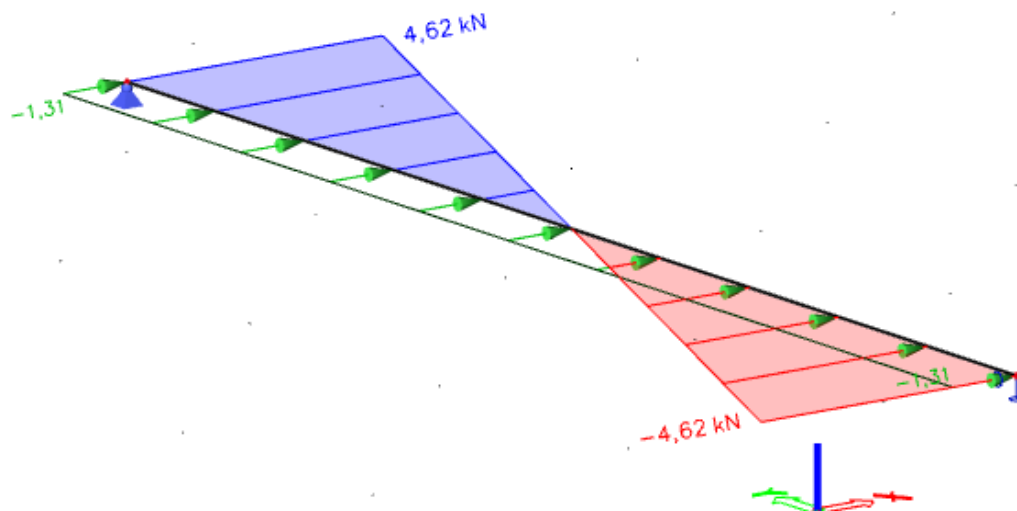
Slika 4.4.3. Dijagram momenata M_y za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W$



Slika 4.4.4. Dijagram poprečnih sila V_y za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W$

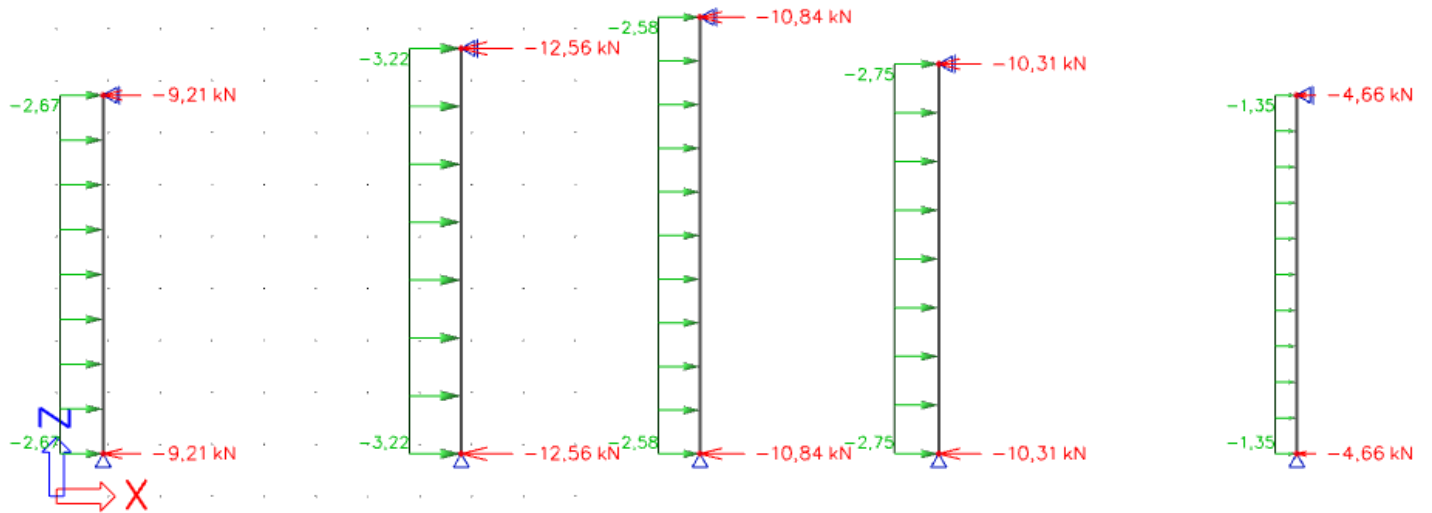


Slika 4.4.5. Dijagram momenata M_z za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W$

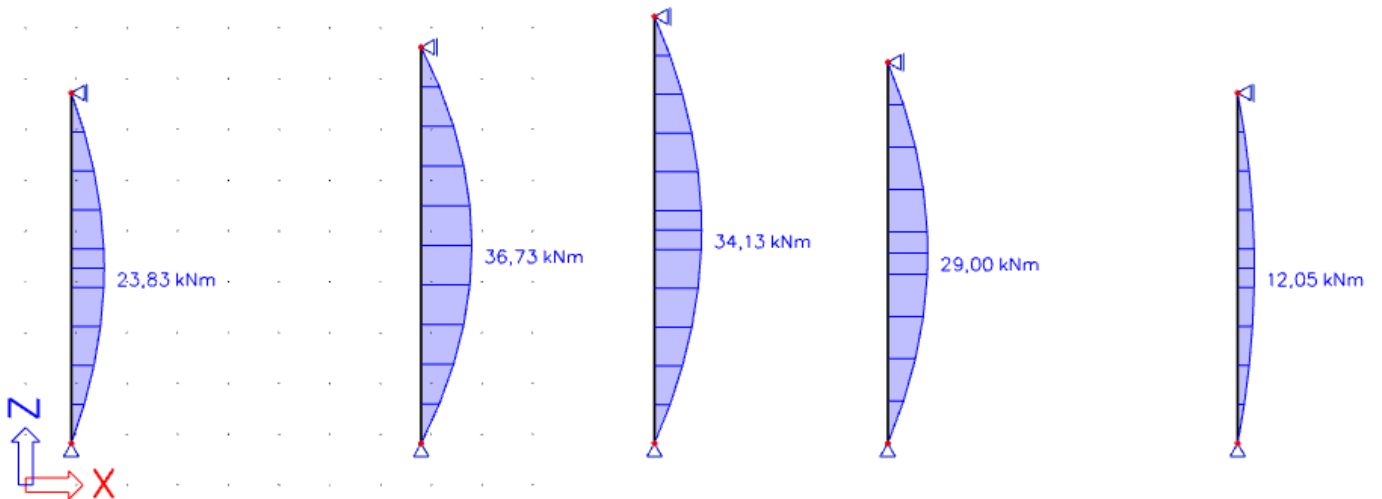


Slika 4.4.6. Dijagram poprečnih sila V_z za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W$

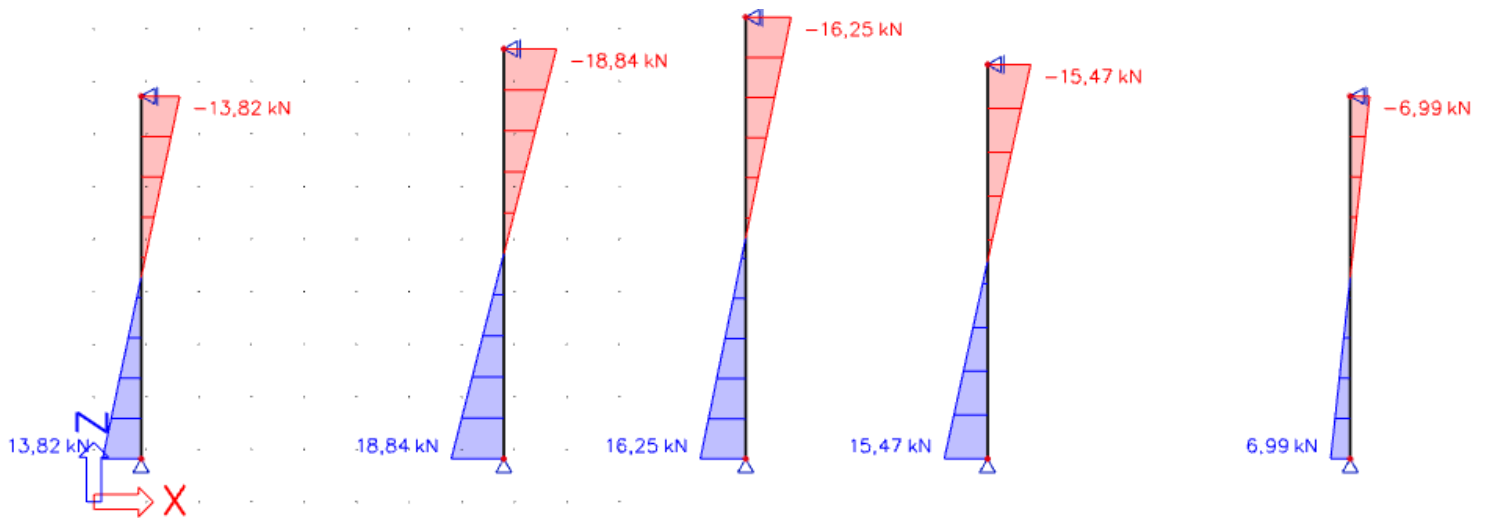
4.5 Zabatni stupovi



Slika 4.5.1 Dijagram reakcija uslijed opterećenja vjetrom

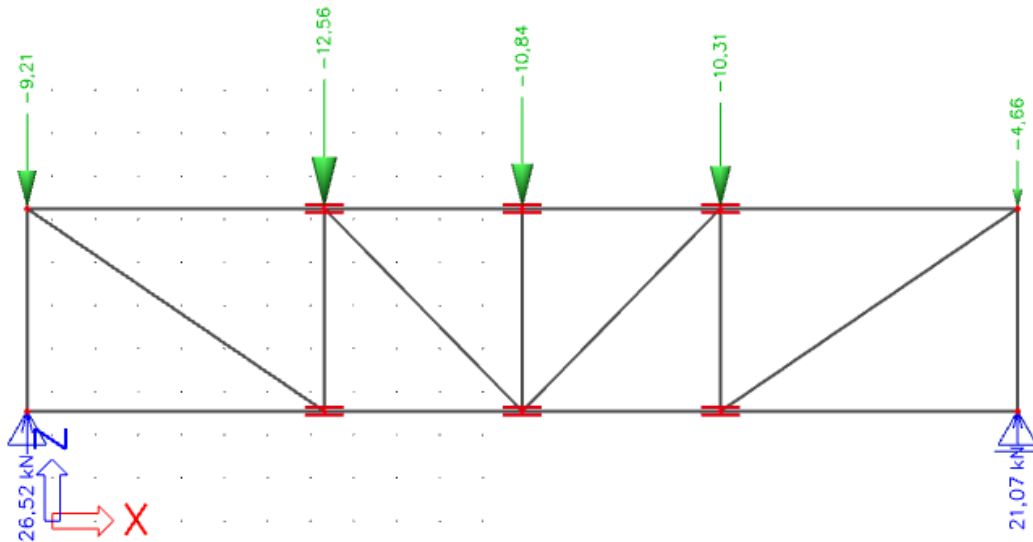


Slika 4.5.2. Dijagram momenata M_y za kritičnu kombinaciju (1,35G+1,5W)

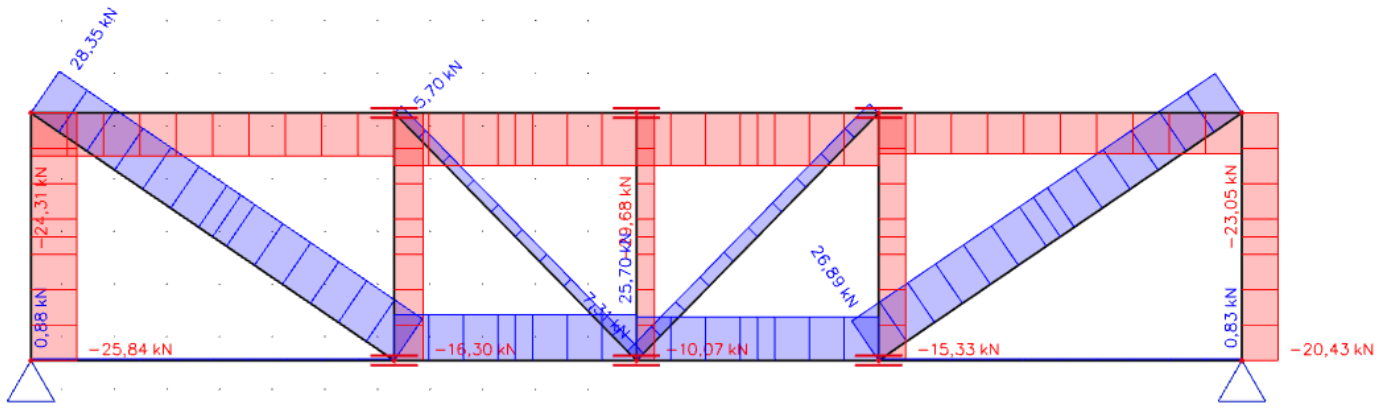


Slika 4.5.3. Dijagram poprečnih sila V_y za kritičnu kombinaciju (1,35G+1,5W)

4.6 Sustav krovnih spregova

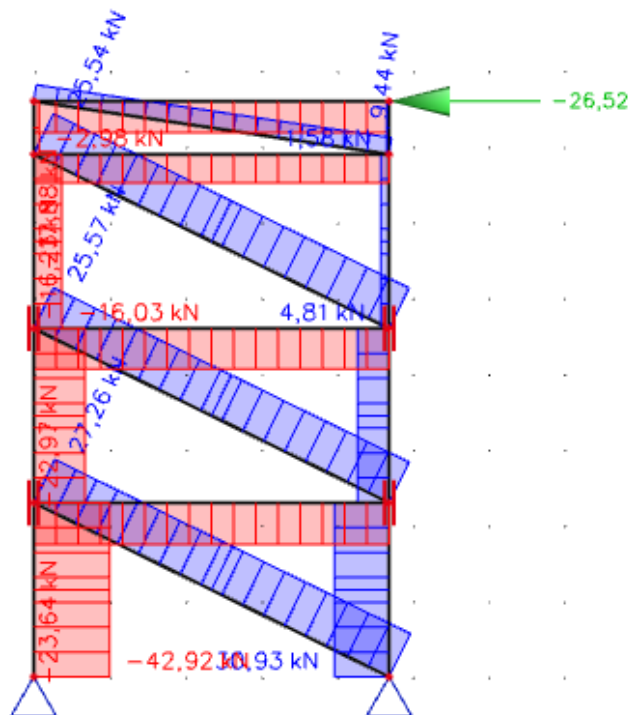


Slika 4.6.1. Reakcije u ležajevima krovnih spregova



Slika 4.6.2. Dijagram uzdužnih sila

4.7 Sustav bočnih spregova



Slika 4.7.1. Dijagram uzdužnih sila

5 DIMENZIONIRANJE

5.1 Stup

Budući da se uslijed kritične kombinacije javlja maksimalni moment i poprečna sila na jednom stupu, a maksimalna uzdužna sila na drugom, proračun radimo za oba slučaja. Također, uslijed jedne kombinacije se javlja maksimalni moment, dok se uslijed druge kombinacije javlja maksimalna tlačna sila pa provodimo proračun i za taj slučaj.

POPREČNI PRESJEK

| HEA 260 | | | |
|---|---------|--|--------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 86,8 |
| visina presjeka h (mm) | 250 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 10500 |
| širina pojasnice b (mm) | 260 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 3670 |
| debljina pojasnice t_f (mm) | 13 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 920,83 |
| debljina hrpta t_w (mm) | 8 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 429,17 |
| radijus r (mm) | 24 | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 516350 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 52,4 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

1. slučaj:

Djelovanja:

$$M_{y,Ed} = 66,47 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 18,87 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 38,39 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 250 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 176 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{176}{8} = 22$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{18,87}{2 \cdot 0,8 \cdot \frac{23,5}{1,0}} = 1,02 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{17,6} \left(\frac{17,6}{2} + 1,02 \right) = 0,56 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,56 - 1} = 63,32$$

$22 < 63,32 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{260 - 8 - 2 \cdot 24}{2} = 102 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{102}{13} = 7,84$$

$7,84 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 7,29 \rightarrow$ **Pojasnica je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 2039,8 \text{ kN}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$N_{c,Rd} = 2039,08 \text{ kN} > N_{Ed} = 38,39 \text{ kN}$$

- Izloženog savijanju:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21639,51 \text{ kNcm} = 216,4 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 216,4 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 66,47 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$$28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,1}{1,2} = 60 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 86,8 - 2 \cdot 26 \cdot 1,3 + (0,8 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,3 = 26,48 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 22,4 \cdot 0,8 = 21,50$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26,48 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 359,27 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 359,27 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 18,87 \text{ kN}$$

- Interakcija M-V-N:

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 359,27 = 179,64 \text{ kN}$$

18,87 kN < 179,64 kN → Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje

$$1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 38,39 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 2039,8 = 509,95 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 38,39 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 22,4 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,0} = 210,56 \text{ kN}$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje.

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun ćemo provesti za svaku os posebno.

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 6,9 \cdot 2 = 13,8 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1380^2} = 1142,75 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{1142,75}} = 1,34$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 < 1,2$$

$$t_f < 100 \text{ mm}$$

Za os y-y: krivulja izvijanja b → $\alpha = 0,34$

Za os z-z: krivulja izvijanja c → $\alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,34 - 0,2) + 1,34^2] = 1,59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,59 + \sqrt{1,59^2 - 1,34^2}} = 0,41 \leq 1,0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 2,3 \text{ m}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{230^2} = 14379,02 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{14379,02}} = 0,38$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,38 - 0,2) + 0,38^2] = 0,62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,38^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,41 \\ \chi_z = 0,91 \end{array} \right\} \text{ Mjerodavan manji}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,41 \cdot 86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 836,32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 836,32 \text{ kN} > N_{ed} = 37,67 \text{ kN}$$

- Savijanje:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$L = 2,3 \text{ m} = 230 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm} = 12,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi = 0,35 \left\{ \begin{array}{l} k = 1,0 \\ k_w = 1,0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} C_1 = 1,44 \text{ (dobiveno interpolacijom)} \\ C_2 = 0 \end{array}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$M_{cr} = 1,44 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1,0 \cdot 230)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1,0 \cdot 230)^2 \cdot 8077 \cdot 52,4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670} + 0 - 0} \right]$$

$$= 270073 \text{ kNcm} = 2700,73 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920,83 \cdot 23,5}{270073}} = 0,28 < 0,4 \rightarrow \text{Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 < 2$$

$$\text{Krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21(0,28 - 0,2) + 0,28^2 \right] = 0,55$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,55 + \sqrt{0,55^2 - 0,28^2}} = 0,98$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0,98 \cdot \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21237,44 \text{ kNcm} = 212,37 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 212,37 > M_{y,Ed} = 66,47$$

$$\eta = \frac{66,47}{212,37} = 0,313 = 31,3 \%$$

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 31,3%.

- Interakcija M-N:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} \leq \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (\sqrt{2}\lambda_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$\lambda_z = 0,38$$

$$\lambda_y = 1,34$$

$$\Psi = 0$$

$$0,6 + 0,4\Psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (1,34 - 0,2) \cdot \frac{C_{mz} = 0,6}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} \right] = 0,63$$

$$0,63 > 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{38,39}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} \right] = 0,62 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0,62}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,62 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0,37}$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot \left[1 + (2 \cdot 0,38 - 0,6) \cdot \frac{38,39}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1}} \right] = 0,60$$

$$0,60 < 0,6 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{38,39}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1}} \right] = 0,62 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 0,60}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,60 \rightarrow \mathbf{k_{yz} = 0,36}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,39}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,62 \cdot \frac{66,47}{0,98 \cdot 216,4} = 0,24 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,39}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,36 \cdot \frac{66,47}{0,98 \cdot \frac{216,4}{1,0}} = 0,13 \leq 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 23 %.

2. Slučaj:

Djelovanja:

$$M_{y,Ed} = 54,50 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 8,23 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 61,62 \text{ kN (tlak)}$$

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 2039,8 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2039,08 \text{ kN} > N_{Ed} = 61,62 \text{ kN}$$

- Izloženog savijanju:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21639,51 \text{ kNcm} = 216,4 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 216,4 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 54,5 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$$28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,1}{1,2} = 60 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 86,8 - 2 \cdot 26 \cdot 1,3 + (0,8 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,3 = 26,48 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 22,4 \cdot 0,8 = 21,50$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26,48 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 359,27 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 359,27 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 8,23 \text{ kN}$$

- Interakcija M-V-N

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 359,27 = 179,64 \text{ kN}$$

8,23 kN < 179,64 kN → Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje

$$1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 61,62 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 2039,8 = 509,95 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 61,62 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 22,4 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,0} = 210,56 \text{ kN}$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun ćemo provesti za svaku os posebno.

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 6,9 \cdot 2 = 13,8 \text{ m}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1380^2} = 1142,75 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{1142,75}} = 1,34$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 < 1,2$$

$$t_f < 100 \text{ mm}$$

Za os y-y: krivulja izvijanja b $\rightarrow \alpha = 0,34$

Za os z-z: krivulja izvijanja c $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,34 - 0,2) + 1,34^2] = 1,59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,59 + \sqrt{1,59^2 - 1,34^2}} = 0,41 \leq 1,0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 2,3 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{230^2} = 14379,02 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{14379,02}} = 0,38$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,38 - 0,2) + 0,38^2] = 0,62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,38^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,41 \\ \chi_z = 0,91 \end{array} \right\} \text{ Mjerodavan manji}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,41 \cdot 86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 836,32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 836,32 \text{ kN} > N_{ed} = 62,62 \text{ kN}$$

- Savijanje:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$L = 2,3 \text{ m} = 230 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm} = 12,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi = 0,65 \left\{ \begin{array}{ll} k = 1,0 & C_1 = 1,21 \text{ (dobiveno interpolacijom)} \\ k_w = 1,0 & C_2 = 0 \end{array} \right.$$

$$M_{cr} = 1,21 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1,0 \cdot 230)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1,0 \cdot 230)^2 \cdot 8077 \cdot 52,4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670} + 0 - 0} \right]$$

$$= 226936,3 \text{ kNcm} = 2269,36 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920,83 \cdot 23,5}{226936,3}} = 0,31 < 0,4 \rightarrow \text{Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 < 2$$

$$\text{Krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21(0,31 - 0,2) + 0,31^2 \right] = 0,56$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,31^2}} = 0,98$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0,98 \cdot \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21107,8 \text{ kNcm} = 211,08 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 211,08 > M_{y,Ed} = 54,5$$

$$\eta = \frac{54,5}{211,08} = 0,2582 = 25,82 \%$$

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 25,82 %.

- Interakcija M-N:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$\lambda_z = 0,38$$

$$\lambda_y = 1,34$$

$$\Psi = 0$$

$$0,6 + 0,4\Psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6$$

$$C_{mz} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (1,34 - 0,2) \cdot \frac{61,62}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} \right] = 0,65$$

$$0,65 > 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{61,62}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} \right] = 0,64 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0,64}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,64 = 0,38 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0,38}$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot \left[1 + (2 \cdot 0,38 - 0,6) \cdot \frac{61,62}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1}} \right] = 0,60$$

$$0,60 < 0,6 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{61,62}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1}} \right] = 0,63 \rightarrow k_{zz} = 0,60$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,60 = 0,36 \rightarrow k_{yy} = 0,36$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,62}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,64 \cdot \frac{54,5}{0,98 \cdot 216,4} = 0,24 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{61,62}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,38 \cdot \frac{54,5}{0,98 \cdot \frac{216,4}{1,0}} = 0,13 \leq 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 24 %.

3. Slučaj:

Djelovanja:

$$M_{y,Ed} = 55,30 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 8,31 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 119,74 \text{ kN (tlak)}$$

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 2039,8 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2039,08 \text{ kN} > N_{Ed} = 119,74 \text{ kN}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

- Izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21639,51 \text{ kNcm} = 216,4 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 216,4 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 55,30 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$$28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,1}{1,2} = 60 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 86,8 - 2 \cdot 26 \cdot 1,3 + (0,8 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,3 = 26,48 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 22,4 \cdot 0,8 = 21,50$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26,48 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 359,27 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 359,27 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 8,31 \text{ kN}$$

- Interakcija M-V-N:

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 359,27 = 179,64 \text{ kN}$$

$$8,31 \text{ kN} < 179,64 \text{ kN} \rightarrow \text{Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile}$$

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje

$$1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 119,74 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 2039,8 = 509,95 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 119,74 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 22,4 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,0} = 210,56 \text{ kN}$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun ćemo provesti za svaku os posebno.

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 6,9 \cdot 2 = 13,8 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1380^2} = 1142,75 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{1142,75}} = 1,34$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 < 1,2$$

$$t_f < 100 \text{ mm}$$

Za os y-y: krivulja izvijanja b $\rightarrow \alpha = 0,34$

Za os z-z: krivulja izvijanja c $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(1,34 - 0,2) + 1,34^2] = 1,59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,59 + \sqrt{1,59^2 - 1,34^2}} = 0,41 \leq 1,0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 2,3 \text{ m}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{230^2} = 14379,02 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86,8 \cdot 23,5}{14379,02}} = 0,38$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49(0,38 - 0,2) + 0,38^2 \right] = 0,62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,38^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,41 \\ \chi_z = 0,91 \end{array} \right\} \text{ Mjerodavan manji}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,41 \cdot 86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 836,32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 836,32 \text{ kN} > N_{ed} = 119,74 \text{ kN}$$

- Savijanje:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$L=2,3=230 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm} = 12,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi=0,65 \quad \begin{array}{ll} k = 1,0 & C_1 = 1,21 \text{ (dobiveno interpolacijom)} \\ k_w = 1,0 & C_2 = 0 \end{array}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$M_{cr} = 1,21 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1,0 \cdot 230)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1,0 \cdot 230)^2 \cdot 8077 \cdot 52,4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670} + 0 - 0} \right]$$

$$= 226936,3 \text{ kNcm} = 2269,36 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920,83 \cdot 23,5}{226936,6}} = 0,31 < 0,4 \rightarrow \text{Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 < 2$$

$$\text{Krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21(0,31 - 0,2) + 0,31^2 \right] = 0,56$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,31^2}} = 0,98$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0,98 \cdot \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21107,8 \text{ kNcm} = 211,08 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 211,08 > M_{y,Ed} = 55,3$$

$$\eta = \frac{55,3}{211,08} = 0,262 = 26,2 \%$$

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 31,49%.

- Interakcija M-N:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (\sqrt{2}\lambda_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$\lambda_z = 0,38$$

$$\lambda_y = 1,34$$

$$\Psi = 0$$

$$0,6 + 0,4\Psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6$$

$$C_{mz} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (1,34 - 0,2) \cdot \frac{119,74}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} \right] = 0,70$$

$$0,65 > 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{119,74}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} \right] = 0,67 \rightarrow k_{yy} = 0,67$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,67 = 0,38 \rightarrow k_{zy} = 0,40$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot \left[1 + (2 \cdot 0,38 - 0,6) \cdot \frac{119,74}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1}} \right] = 0,61$$

$$0,61 < 0,6 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{119,74}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1}} \right] = 0,65 \rightarrow k_{zz} = 0,61$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,61 = 0,36 \rightarrow k_{yz} = 0,37$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1,0$$

$$\frac{119,74}{0,41 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,7 \cdot \frac{55,3}{0,98 \cdot 216,4} = 0,33 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{119,74}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,4 \cdot \frac{55,3}{0,98 \cdot \frac{216,4}{1,0}} = 0,17 \leq 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 33 %.

5.2 Gornji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK

| SHS 150/150/6.0 | | | |
|-----------------------------------|---------|--|-------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 34,2 |
| visina presjeka h (mm) | 150 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 1174 |
| širina pojasnice b (mm) | 150 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 1174 |
| debljina t | 6 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 184 |
| radijus r (mm) | 9 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 184 |
| | | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 37969 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 1828 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 461,85 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 150 - 3 \cdot 6 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 27$$

$$22 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 803,7 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 803,7 \text{ kN} > N_{Ed} = 461,85 \text{ kN}$$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun ćemo provesti za svaku os posebno.

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 2,3056 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{230,56^2} = 4577,4 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34,2 \cdot 23,5}{4577,4}} = 0,42$$

Krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34(0,42 - 0,2) + 0,42^2 \right] = 0,63$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,42^2}} = 0,91 \leq 1,0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 4,611 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{461,1^2} = 1144,45 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34,2 \cdot 23,5}{1144,45}} = 0,84$$

Krivulja izvijanja $a \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,84 - 0,2) + 0,84^2] = 1,01$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,01 + \sqrt{1,01^2 - 0,84^2}} = 0,64 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,91 \\ \chi_z = 0,64 \end{array} \right\} \text{ Mjerodavan manji}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,64 \cdot 34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 514,37 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 514,37 \text{ kN} > N_{ed} = 461,85 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{461,85}{514,37} = 0,8979 = 89,8 \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 89,8 %.

5.3 Donji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK

| SHS 150/150/6.0 | | | |
|-----------------------------------|---------|--|-------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 34,2 |
| visina presjeka h (mm) | 150 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 1174 |
| širina pojasnice b (mm) | 150 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 1174 |
| debljina t | 6 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 184 |
| radijus r (mm) | 9 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 184 |
| | | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 37969 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 1828 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 459,34 \text{ kN (vlak)}$$

$$N_{Ed} = 1,01 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 150 - 3 \cdot 6 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22$$

$$22 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 803,7 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 803,7 \text{ kN} > N_{Ed} = 1,01 \text{ kN}$$

- Izloženog vlačnoj sili:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{34,2 \cdot 23,5}{1} = 803,7 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 803,7 \text{ kN} > N_{ed} = 459,34 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{459,34}{803,7} = 0,5715 = 57,15 \%$$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 23 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{2300^2} = 46 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34,2 \cdot 23,5}{46}} = 4,18$$

Krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(4,18 - 0,2) + 4,18^2] = 9,91$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{9,91 + \sqrt{9,91^2 - 4,18^2}} = 0,053 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,053 \cdot 34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 42,6 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 42,6 \text{ kN} > N_{ed} = 1,01 \text{ kN}$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 2,3 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{230^2} = 4599,72 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34,2 \cdot 23,5}{4599,72}} = 0,42$$

Krivulja izvijanja $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,42 - 0,2) + 0,42^2] = 0,64$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,64 + \sqrt{0,64^2 - 0,42^2}} = 0,71 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,05 \\ \chi_z = 0,71 \end{array} \right\} \text{Mjerodavan manji}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,05 \cdot 34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 40,2 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 40,2 \text{ kN} > N_{ed} = 1,01 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{1,01}{40,2} = 0,03 = 3 \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 57,15 %.

5.4 Dijagonale

POPREČNI PRESJEK

| SHS 90/90/4.0 | | | |
|-----------------------------------|---------|--|--------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 13,6 |
| visina presjeka h (mm) | 90 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 166 |
| širina pojasnice b (mm) | 90 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 166 |
| debljina t | 4 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 43,6 |
| radijus r (mm) | 6 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 43,6 |
| | | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 1968,3 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 260 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 290,23 \text{ kN (vlak)}$$

$$N_{Ed} = 50,37 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 90 - 3 \cdot 4 = 78 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{78}{4} = 19,5$$

$$19,5 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13,6 \cdot 23,5}{1,0} = 319,6 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 319,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 50,37 \text{ kN}$$

- Izloženog vlačnoj sili:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{13,6 \cdot 23,5}{1,0} = 319,6 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 319,6 \text{ kN} > N_{ed} = 290,23 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{290,23}{319,6} = 0,9081 = 90,81 \%$$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila

Os z-z:

$$L_{cr,y} = 2,662 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 166}{266,2^2} = 485,52 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{13,6 \cdot 23,5}{485,52}} = 0,81$$

Krivulja izvijanja $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49(0,81 - 0,2) + 0,81^2] = 0,98$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,98 + \sqrt{0,98^2 - 0,81^2}} = 0,65 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,65 \cdot 13,6 \cdot 23,5}{1,0} = 207,74 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 207,74 \text{ kN} > N_{ed} = 50,37 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{50,37}{207,74} = 0,2425 = 24,25\%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 90,81%

5.5 Vertikale

5.5.1 Vanjske vertikale

POPREČNI PRESJEK VANJSKIH VERTIKALA

POPREČNI PRESJEK

| SHS 150/150/6.0 | | | |
|-----------------------------------|---------|--|-------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 34,2 |
| visina presjeka h (mm) | 150 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 1174 |
| širina pojasnice b (mm) | 150 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 1174 |
| debljina t | 6 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 184 |
| radijus r (mm) | 9 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 184 |
| | | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 37969 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 1828 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 116,05 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 150 - 3 \cdot 6 = 132 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22$$

$$22 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 803,7 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 803,7 \text{ kN} > N_{Ed} = 116,05 \text{ kN}$$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Os y-y

$$L_{cr,y} = 0,7 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{70^2} = 49658,21 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34,2 \cdot 23,5}{49658,21}} = 0,13$$

Krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(0,13 - 0,2) + 0,13^2] = 0,5$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,5 + \sqrt{0,5^2 - 0,13^2}} = 1 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1 \cdot 34,2 \cdot 23,5}{1,0} = 803,7 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 803,7 \text{ kN} > N_{ed} = 116,05 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{116,05}{803,7} = 0,144 = 14,4\%$$

Poprečni presjek unutarnjih dijagonala zadovoljava s iskoristivosti od 14,4%

5.5.2 Unutarnje vertikale

POPREČNI PRESJEK UNUTARNJIH VERTIKALA

POPREČNI PRESJEK

| SHS 140/140/4.0 | | | |
|-----------------------------------|---------|--|------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 4,34 |
| visina presjeka h (mm) | 40 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 9,78 |
| širina pojasnice b (mm) | 40 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 9,78 |
| debljina t | 3 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 5,97 |
| radijus r (mm) | 5 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 5,97 |
| | | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 25,6 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 15,7 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 78,92 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 3 \cdot t = 60 - 3 \cdot 3 = 51 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{51}{3} = 17$$

$$17 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{Hrbat je klase 1}$$

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,34 \cdot 23,5}{1,0} = 102 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 102 \text{ kN} > N_{Ed} = 78,92 \text{ kN}$$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 0,86 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9,78}{86^2} = 274,07 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,34 \cdot 23,5}{274,07}} = 0,61$$

Krivulja izvijanja $b \rightarrow \alpha = 0,34$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(0,61 - 0,2) + 0,61^2] = 0,76$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,76 + \sqrt{0,76^2 - 0,61^2}} = 0,82 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,82 \cdot 4,34 \cdot 23,5}{1,0} = 83,63 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 83,63 \text{ kN} > N_{ed} = 78,92 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{78,92}{83,63} = 0,9437 = 94,37 \%$$

Poprečni presjek vanjskih dijagonala zadovoljava s iskoristivosti od 94,37%

5.6 Zabatni stupovi

POPREČNI PRESJEK

| HEA 180 | | | |
|---|---------|--|--------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 45,3 |
| visina presjeka h (mm) | 171 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 2510 |
| širina pojasnice b (mm) | 180 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 925 |
| debljina pojasnice t_f (mm) | 10 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 325 |
| debljina hrpta t_w (mm) | 6 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 156,67 |
| radijus r (mm) | 15 | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 60211 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 14,8 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$M_{y,Ed} = 36,73 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 18,84 \text{ kN}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 171 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 121 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20,17$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72$$

$20,17 < 72 \rightarrow$ Hrbat je klase 1

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{180 - 6 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{72}{10} = 7,2$$

$7,2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow$ Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog savijanju:

$$M_{c,Rd} = M_{EL,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{325 \cdot 25,3}{1,0} = 7637,5 \text{ kNcm} = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 76,38 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,73 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25,17$$

$25,17 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,2} = 60 \rightarrow$ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{EL,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 45,3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0,6 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1 = 12,90 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 25,17 \cdot 0,6 = 18,84$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12,90 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 175,02 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 175,02 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 18,84 \text{ kN}$$

- Interakcija M-V:

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 175,02 = 87,51 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 18,84 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 87,51 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y,c,Rd} = 76,38 \text{ kNm}$$

Nema redukcije otpornosti u interakciji reznih sila.

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{36,73}{76,38} = 0,4809 < 1$$

Otpornost elementa

- Savijanje:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$L = 7,8 \text{ m}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{171}{2} = 85,5 \text{ mm} = 8,5 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 780)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{925} + \frac{(1,0 \cdot 780)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}} + (0,454 \cdot 8,55)^2 - 0,454 \right] \cdot 8,55 = 6234,25 \text{ kNcm} = 62,34 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{325 \cdot 25,5}{6234,25}} = 1,107 > 0,4 \rightarrow \text{Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaj}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 < 2$$

$$\text{Krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,107 - 0,2) + 1,107^2] = 1,208$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,208 + \sqrt{1,208^2 - 1,107^2}} = 0,59$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0,59 \cdot \frac{325 \cdot 25,5}{1,0} = 4516,33 \text{ kNcm} = 45,16 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 45,16 > M_{y,Ed} = 36,73$$

$$\eta = \frac{36,73}{45,16} = 0,81333 = 81,33 \%$$

Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 81,33 %.

5.7 Krovna podrožnica

POPREČNI PRESJEK

| IPE 220 | | | |
|---|---------|--|-------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 33,4 |
| visina presjeka h (mm) | 220 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 2772 |
| širina pojasnice b (mm) | 210 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 205 |
| debljina pojasnice t_f (mm) | 9 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 285 |
| debljina hrpta t_w (mm) | 6 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 58,1 |
| radijus r (mm) | 12 | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 22700 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 9,07 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$M_{y,Ed} = 13,54 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 11,52 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,78 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,66 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 24,31 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 200 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26,33$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{24,31}{2 \cdot 0,6 \cdot \frac{23,5}{1,0}} = 0,86 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{15,8} \left(\frac{15,8}{2} + 0,86 \right) = 0,55 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,55 - 1} = 68,75$$

$26,33 < 68,75 \rightarrow$ Hrbat je klase 1

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{100 - 6 - 2 \cdot 12}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35}{9} = 3,89$$

$3,89 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow$ Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28,5 \cdot 23,5}{1,0} = 669,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 669,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 24,31 \text{ kN}$$

- Izloženog savijanju:

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 23,5}{1,0} = 5193,5 \text{ kNcm} = 51,94 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 51,94 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 13,54 \text{ kNm}$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44,6 \cdot 23,5}{1,0} = 1048,1 \text{ kNcm} = 10,48 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 10,48 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0,78 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka:

U smjeru osi z-z:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30,33$$

$$30,33 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,2} = 60 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 28,5 - 2 \cdot 10 \cdot 0,9 + (0,6 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,9 = 13,2 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 18,2 \cdot 0,6 = 13,1$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13,2 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 179,09 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179,09 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 11,52 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,y} = A - \sum h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,y} = 28,5 - 18,2 \cdot 0,6 = 17,58$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17,58 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 238,52 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 238,52 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,66 \text{ kN}$$

- Interakcija M-V-N (dvoosno savijanje)

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2; \beta = 5 \cdot n \quad (\beta \geq 1,0)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{24,31}{669,75} = 0,04 < 1 \rightarrow \beta = 1,0$$

Savijanje u smjeru osi y-y:

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 179,09 = 89,55 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,52 \text{ kN} < 89,55 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje

$$1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$N_{Ed} = 24,31 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 669,75 = 167,44 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 24,31 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 15,8 \cdot 0,6 \cdot 23,5}{1,0} = 111,39 \text{ kN}$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{c,y,Rd} = 51,94 \text{ kNm}$$

Savijanje u smjeru osi z-z:

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 238,52 = 119,26 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,66 \text{ kN} < 119,26 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile

$$M_{N,V,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 10,48 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{13,54}{51,94}\right)^2 + \left(\frac{0,78}{10,48}\right)^1 = 0,14 \leq 1,0$$

Profil IPE 220 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun ćemo provesti za svaku os posebno.

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 4,7 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1943}{470^2} = 1823,04 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{28,5 \cdot 23,5}{1823,04}} = 0,61$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 > 1,2$$

$$t_f = 9 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

Krivulja izvijanja oko osi y-y $a \rightarrow \alpha = 0,21$

Krivulja izvijanja oko osi z-z $b \rightarrow \alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(0,61 - 0,2) + 0,61^2] = 0,73$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,61^2}} = 0,89 \leq 1,0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 4,7 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{470^2} = 133,23 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{28,5 \cdot 23,5}{133,23}} = 2,24$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(2,24 - 0,2) + 2,24^2] = 3,36$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,36 + \sqrt{3,36^2 - 2,24^2}} = 0,17 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,89 \\ \chi_z = 0,17 \end{array} \right\} \text{ Mjerodavan manji}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,17 \cdot 28,5 \cdot 23,5}{1,0} = 113,86 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 113,86 \text{ kN} > N_{ed} = 24,31 \text{ kN}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

- Savijanje:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$L = 4,7 \text{ m} = 470 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm} = 10,0 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,271 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{(1,0 \cdot 470)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{13000}{142} + \frac{(1,0 \cdot 470)^2 \cdot 8077 \cdot 6,98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142} + (0,454 \cdot 10)^2} - 0,454 \cdot 10 \right]$$

$$= 2792,37 \text{ kNm} = 27,92 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 23,5}{2792,37}} = 1,36 > 0,4 \rightarrow \text{Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2$$

$$\text{Krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,36 - 0,2) + 1,36^2] = 1,55$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,55 + \sqrt{1,55^2 - 1,36^2}} = 0,44$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0,44 \cdot \frac{221 \cdot 23,5}{1,0} = 2285,14 \text{ kNcm} = 22,85 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 22,85 > M_{y,Ed} = 13,54$$

- Interakcija M-N:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

Element je osjetljiv na torzijske deformacije.

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

Za $\lambda_z = 2,24 > 0,4$:

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

Za I presjek:

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

Određivanje C_{mi} :

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \\ \Psi = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \\ C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \\ C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \end{array}$$

$$\lambda_z = 2,24$$

$$\lambda_y = 0,61$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1 + (0,61 - 0,2) \cdot \frac{24,31}{0,89 \cdot \frac{669,75}{1,0}} \right] = 0,97 < 0,95 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{24,31}{0,89 \cdot \frac{669,75}{1,0}} \right] = 0,98$$

$$0,96 < 0,97 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0,96}$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2,24 - 0,6) \cdot \frac{24,31}{0,17 \cdot \frac{669,75}{1,0}} \right] = 1,74 < 0,95 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{24,31}{0,17 \cdot \frac{669,75}{1,0}} \right] = 1,23$$

$$1,74 > 1,23 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 1,23}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,23 = 0,74 \rightarrow \mathbf{k_{yz} = 0,74}$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 2,24}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{24,31}{0,17 \cdot \frac{669,75}{1,0}} \right] = 0,93$$

$$0,93 < \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{24,31}{0,17 \cdot \frac{669,75}{1,0}} \right] = 0,97 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0,97}$$

$$\frac{24,31}{0,89 \cdot \frac{669,75}{1,0}} + 0,96 \cdot \frac{13,54}{0,44 \cdot \frac{51,94}{1,0}} + 0,74 \cdot \frac{0,78}{\frac{10,48}{1,0}} = 0,6646 \leq 1,0$$

$$\frac{24,31}{0,17 \cdot \frac{669,75}{1,0}} + 0,97 \cdot \frac{13,54}{0,44 \cdot \frac{51,94}{1,0}} + 1,23 \cdot \frac{0,78}{\frac{10,48}{1,0}} = 0,8998 \leq 1,0$$

Profil IPE 220 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti $\eta = 90\%$.

5.8 Bočna podrožnica

POPREČNI PRESJEK

| IPE 160 | | | |
|---|---------|---|------|
| tip presjeka | valjani | površina A (cm ²) | 20,1 |
| visina presjeka h (mm) | 160 | moment tromosti oko osi y I_y (cm ⁴) | 869 |
| širina pojasnice b (mm) | 82 | moment tromosti oko osi z I_z (cm ⁴) | 68,3 |
| debljina pojasnice t_f (mm) | 7 | moment otpora W_{pl,y} (cm ³) | 124 |
| debljina hrpta t_w (mm) | 5 | moment otpora W_{pl,z} (cm ³) | 26,1 |
| radijus r (mm) | 9 | konstanta krivljenja I_w (cm ⁶) | 3960 |
| | | torzijska konstanta I_t (cm ⁴) | 3,6 |

| | |
|---|--------|
| Materijal | S235 |
| Granica popuštanja f_y (N/mm ²) | 235 |
| Modul elastičnosti E (N/mm) | 210000 |
| Poissonov koeficijent ν | 0,3 |
| ε | 1 |

Djelovanja:

$$M_{y,Ed} = 5,43 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 4,62 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,58 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 0,49 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 23,64 \text{ kN (tlak)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 160 - 2 \cdot 7 - 2 \cdot 9 = 128 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{128}{5} = 25,6$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{23,64}{2 \cdot 0,5 \cdot \frac{23,5}{1,0}} = 1,01 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{12,8} \left(\frac{12,8}{2} + 1,01 \right) = 0,58 > 0,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0,58 - 1} = 60,72$$

$25,6 < 60,72 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{82 - 5 - 2 \cdot 9}{2} = 29,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{29,5}{7} = 4,21$$

$4,21 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow$ **Pojasnica je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20,1 \cdot 23,5}{1,0} = 475,35 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 475,35 \text{ kN} > N_{Ed} = 23,64 \text{ kN}$$

- Izloženog savijanju:

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124 \cdot 23,5}{1,0} = 2914 \text{ kNcm} = 29,14 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 29,14 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 5,43 \text{ kNm}$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26,1 \cdot 23,5}{1,0} = 613,35 \text{ kNcm} = 6,13 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 6,13 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0,58 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka:

U smjeru osi z-z:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{160 - 2 \cdot 7}{5} = 29,2$$

$$29,2 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,2} = 60 \rightarrow \text{Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 20,1 - 2 \cdot 8,2 \cdot 0,7 + (0,5 + 2 \cdot 0,9) \cdot 0,7 = 10,23 \text{ cm}^2 < 1,2 \cdot 14,6 \cdot 0,5 = 8,76$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{10,23 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 138,8 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 138,8 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 4,62 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,y} = A - \sum h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,y} = 20,1 - 14,6 \cdot 0,5 = 12,8$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{12,8 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 173,67 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 173,67 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,49 \text{ kN}$$

- Interakcija M-V-N (dvoosno savijanje):

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2; \beta = 5 \cdot n \quad (\beta \geq 1,0)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{23,64}{475,35} = 0,05 < 1 \rightarrow \beta = 1,0$$

Savijanje u smjeru osi y-y:

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 138,8 = 69,4 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 4,62 \text{ kN} < 69,4 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje:

$$1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 23,64 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 475,35 = 118,84 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 23,64 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 12,8 \cdot 0,5 \cdot 23,5}{1,0} = 75,2 \text{ kN}$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{c,y,Rd} = 29,14 \text{ kNm}$$

Savijanje u smjeru osi z-z:

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 173,67 = 86,84 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,49 \text{ kN} < 86,84 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile

$$M_{N,V,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 6,13 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{5,43}{29,14}\right)^2 + \left(\frac{0,58}{6,13}\right)^1 = 0,13 \leq 1,0$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun ćemo provesti za svaku os posebno.

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 4,7 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 869}{470^2} = 815,35 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20,1 \cdot 23,5}{815,35}} = 0,76$$

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1,95 > 1,2$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$t_f = 5 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

Krivulja izvijanja oko osi y-y $a \rightarrow \alpha = 0,21$

Krivulja izvijanja oko osi z-z $b \rightarrow \alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(0,76 - 0,2) + 0,76^2] = 0,85$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,85 + \sqrt{0,85^2 - 0,76^2}} = 0,81 \leq 1,0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 4,7 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,3}{470^2} = 64,08 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20,1 \cdot 23,5}{64,08}} = 2,72$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34(2,72 - 0,2) + 2,72^2] = 4,63$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4,63 + \sqrt{4,63^2 - 2,72^2}} = 0,12 \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \chi_y = 0,81 \\ \chi_z = 0,12 \end{array} \right\} \text{Mjerodavan manji}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,12 \cdot 20,1 \cdot 23,5}{1,0} = 56,68 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 56,68 \text{ kN} > N_{ed} = 23,64 \text{ kN}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

- Savijanje:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$L = 4,7 \text{ m} = 470 \text{ cm}$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm} = 8,0 \text{ cm}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = 1,0 \quad C_1 = 1,127$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,3}{(1,0 \cdot 470)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{3960}{68,3} + \frac{(1,0 \cdot 470)^2 \cdot 8077 \cdot 3,6}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,3} + (0,454 \cdot 8)^2} - 0,454 \cdot 8 \right]$$

$$= 1392,36 \text{ kNm} = 13,92 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{124 \cdot 23,5}{1392,36}} = 1,45 > 0,4 \rightarrow \text{Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaj}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1,95 \leq 2$$

$$\text{Krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,45 - 0,2) + 1,45^2] = 1,68$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,68 + \sqrt{1,68^2 - 1,45^2}} = 0,4$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0,4 \cdot \frac{124 \cdot 23,5}{1,0} = 1165,6 \text{ kNcm} = 11,66 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 11,66 > M_{y,Ed} = 5,43$$

- Interakcija M-N:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

Element je osjetljiv na torzijske deformacije.

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

Za $\lambda_z = 2,72 > 0,4$:

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

Za I presjek:

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

Određivanje C_{mi} :

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \\ \Psi = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \\ C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \\ C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \end{array}$$

$$\lambda_z = 2,72$$

$$\lambda_y = 0,76$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1 + (0,76 - 0,2) \cdot \frac{23,64}{0,81 \cdot \frac{475,35}{1,0}} \right] = 0,98 < 0,95 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{23,64}{0,81 \cdot \frac{475,35}{1,0}} \right] = 1$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$0,95 < 1 \rightarrow k_{yy} = 0,95$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2,72 - 0,6) \cdot \frac{23,64}{0,12 \cdot \frac{475,35}{1,0}} \right] = 2,85 < 0,95 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{23,64}{0,12 \cdot \frac{475,35}{1,0}} \right] = 1,5$$

$$2,85 > 1,5 \rightarrow k_{zz} = 1,5$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \rightarrow k_{yz} = 0,9$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 2,72}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{23,64}{0,12 \cdot \frac{475,35}{1,0}} \right] = 0,84$$

$$0,84 < \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{23,64}{0,12 \cdot \frac{475,35}{1,0}} \right] = 0,94 \rightarrow k_{zy} = 0,94$$

$$\frac{23,64}{0,81 \cdot \frac{475,35}{1,0}} + 0,95 \cdot \frac{5,43}{0,4 \cdot \frac{29,14}{1,0}} + 0,9 \cdot \frac{0,58}{\frac{6,13}{1,0}} = 0,59 \leq 1,0$$

$$\frac{23,64}{0,12 \cdot \frac{475,35}{1,0}} + 0,94 \cdot \frac{5,43}{0,4 \cdot \frac{29,14}{1,0}} + 1,5 \cdot \frac{0,58}{\frac{6,13}{1,0}} = 0,99 \leq 1,0$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti od 99%.

5.9 Bočni spreg

Maksimalna vlačna sila: $N = 31,88 \text{ kN}$

$$A = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,54 \cdot 23,5}{1,0} = 36,19 \text{ kN} > N_{Ed} = 31,88 \text{ kN}$$

Za bočne je spregove odabran profil **RD14**.

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{31,88}{36,19} = 0,8809 = 88,1 \%$$

Profil RD14, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti od 88,1%.

5.10 Krovni spreg

Maksimalna vlačna sila: $N = 29,46 \text{ kN}$

$$A = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1,54 \cdot 23,5}{1,0} = 36,19 \text{ kN} > N_{Ed} = 29,46 \text{ kN}$$

Za krovne je spregove odabran profil **RD14**.

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{29,46}{36,19} = 0,814 = 81,4 \%$$

Profil RD13, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti od 81,4%.

6 PRORAČUN SPOJEVA

6.1 Upeti spoj stup-temelj

Djelovanja:

$$M_{Ed} = 67,7 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 19,06 \text{ kN}$$

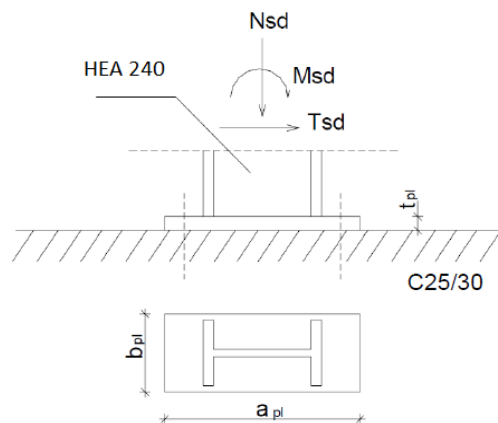
$$N_{Ed} = 42,36 \text{ kN (tlak)}$$

Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

POPREČNI PRESJEK:

| HEA 260 | |
|---|---------|
| tip presjeka | valjani |
| visina presjeka h (mm) | 250 |
| širina pojasnice b (mm) | 260 |
| debljina pojasnice t_f (mm) | 13 |
| debljina hrpta t_w (mm) | 8 |
| površina A (cm ²) | 86,8 |



Raspodjela sila po presjeku nosača

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N_{P}^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{M_{Ed}}{(h - 2 \cdot \frac{t_f}{2})} = \frac{67,7}{0,25 - 0,013} = 285,65 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_{P}^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Sd} = -\frac{26 \cdot 1,3}{86,8} \cdot 42,36 = -16,5 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^M + N_p^N = 285,65 - 16,5 = 269,15 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

Kontrola varova

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot 260 = 520 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot 250 = 500 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a = 4 \text{ mm}$

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{520}{100} = 432,22 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 269,15 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{500}{100} = 415,6 \text{ kN} > V_{Ed} = 16,06 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M-22, udaljenost c_{\min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{\min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 4\sqrt{2} = 49,66$$

→ Usvojeno: $c = 50 \text{ mm}$

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{67,7}{42,36} = 1,6 \text{ m}$$

Ekscentricitet x_1 :

$$x_1 = c + h - \frac{t_f}{2} = 50 + 250 - 6,5 = 293,5 \text{ mm} = 0,2935 \text{ m}$$

Ekscentricitet x_2 :

$$x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 1600 - 250/2 + 6,5 = 1481,5 \text{ mm} = 1,482 \text{ m}$$

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Ed} \cdot x_1 \quad \Rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 42,36 \cdot \frac{1,482}{0,2935} = 206,1 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{136,4}{1,25} = 109,1 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{206,1}{2} = 103,05 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{90,9}{1,25} = 72,7 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{19,06}{4} = 4,77 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{4,77}{72,7} + \frac{103,05}{1,4 \cdot 109,1} \leq 1,0 \quad \Rightarrow 0,74 \leq 1,0$$

Iskoristivost vijaka je 74%, a potrebna su četiri vijka.

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2(c + e_1) = 250 + 2 \cdot (50 + 55) = 460 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 260 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 291,31 \text{ mm}$$

$$= p_2 + 2e_2 = 75 + 2 \cdot 45 = 165 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 470x300 mm.

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

Proračun debljine ploče - t_{pl}^{\min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{19,06}{4} = 4,77 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{151,3}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 4,77 \text{ kN} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = 0,3941 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{470 - 250 + 13}{2} = 116,65 \text{ mm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 206,1 + 42,36 = 248,46 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{b,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{248,46}{\frac{3 \cdot 116,65 \cdot 30,0}{2}} = 0,474 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s \\ &= \frac{2}{3} \cdot 4650 \cdot 0,1165 \cdot 0,30 \cdot \frac{0,1165}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 4650 \cdot 0,1165 \cdot 0,30}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,1165 \\ &= 8,414 \text{ kN} \end{aligned}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 206,1 \cdot (0,050 + 0,0065) = 11,64 \text{ kNm}$$

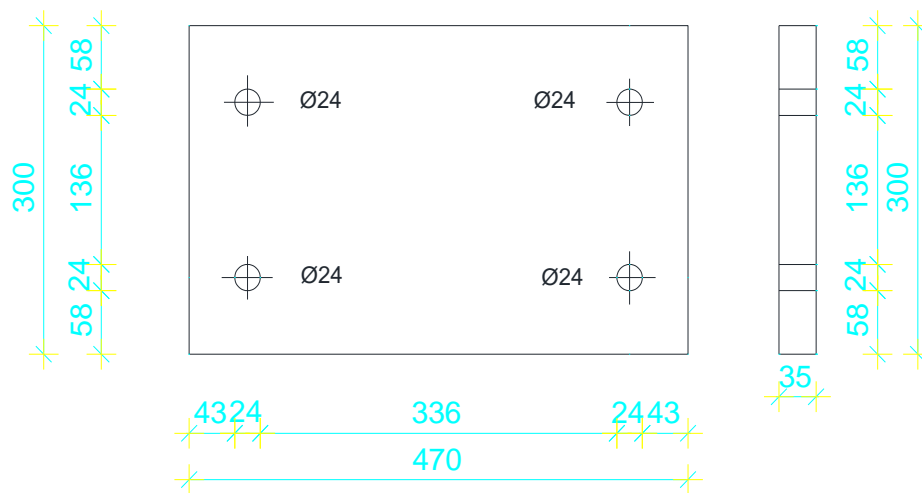
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{pl} \cdot f_y}{1,1}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

$$W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min 2}}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1164 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}} = 3,3 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su **470x300x35** mm.



6.2 Vlačni nastavak rešetke

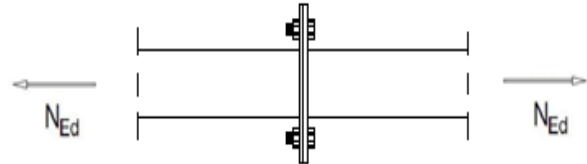
Djelovanja:

$$N_{Ed} = 402,07 \text{ kN}$$

Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

POPREČNI PRESJEK: SHS 150/150/6



Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ mm}$$

odabrano $a = 4 \text{ mm}$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 140 = 560 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{560}{100} = 465,47 \text{ kN} > N_{Ed} = 402,07 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M22 k.v. 5.6

n=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{136,4}{1,25} = 109,12 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{402,07}{4} = 100,52 \text{ kN} < F_{t,Rd} = 109,12 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{100,52}{109,12} = 0,9212$$

Iskoristivost vijaka je 92%, a potrebna su četiri vijka.

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 4\sqrt{2} = 49,66 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2e_2 + p_2 = 2 \cdot 45 + 75 = 165 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 150 + 11,31 + 20 = 181,31 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 331x331 mm.

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

$$e = c \cdot \sin(\alpha) = 50 \cdot \sin(45) = 35,5 \text{ mm}$$

$$b_{pl} = 300 \text{ mm}$$

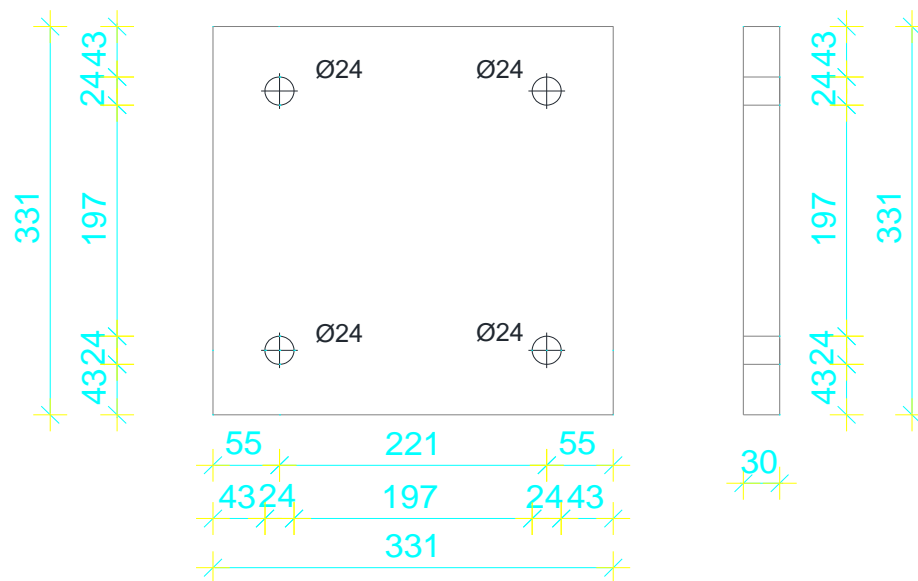
$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 100,52 \cdot 0,0355 = 7,14 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \sigma_{pl}^{min}}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 714 \cdot 6}{30 \cdot 23,5}} = 2,59 \text{ cm}$$

Zadovoljava ploča debljine $t_{pl} = 30 \text{ mm}$

Odabrane dimenzije ploče su **331x331x30 mm**.



6.3 Spoj stup-rešetka

Djelovanja:

$N_{Ed} = 7,06$ kN (tlak-donji pojas)

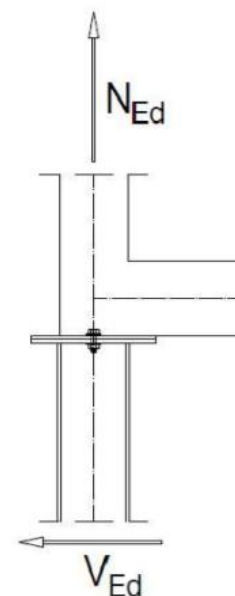
Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

POPREČNI PRESJEK

Stup: HEA 260

Donji pojas rešetke: SHS 150/150/6



| SHS 150/150/6.0 | |
|---|---------|
| tip presjeka | valjani |
| visina presjeka h (mm) | 150 |
| širina pojasnice b (mm) | 150 |
| debljina pojasnice t_f (mm) | 6 |
| površina A (cm ²) | 34,2 |

Kontrola varova

Duljina vara hrpta:

$$l_1 = 2 * (h - 2 * t_f) = 2 * (150 - 2 * 6) = 276 \text{ mm}$$

Duljina vara pojasa:

$$l_2 = 0 = 4 * 150 = 600 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 6 = 4,2 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a=4$ mm

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103,9}{1,25} \cdot \frac{276}{100} = 229,41 \text{ kN} > V_{Ed} = 7,06 \text{ kN}$$

Proračun vijaka

Odabrani vijci: M12; kv 5.6

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 2 vijka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,24 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{7,06}{2} = 3,53 \text{ kN}$$

$$\frac{3,53}{20,24} \leq 1,0$$

$$0,17 \leq 1,0$$

Iskoristivost vijaka je 17%, a potrebna su dva vijka.

Proračun ploče

Proračun širine i dužine ploče:

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 150 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 181,31 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 200x200 mm

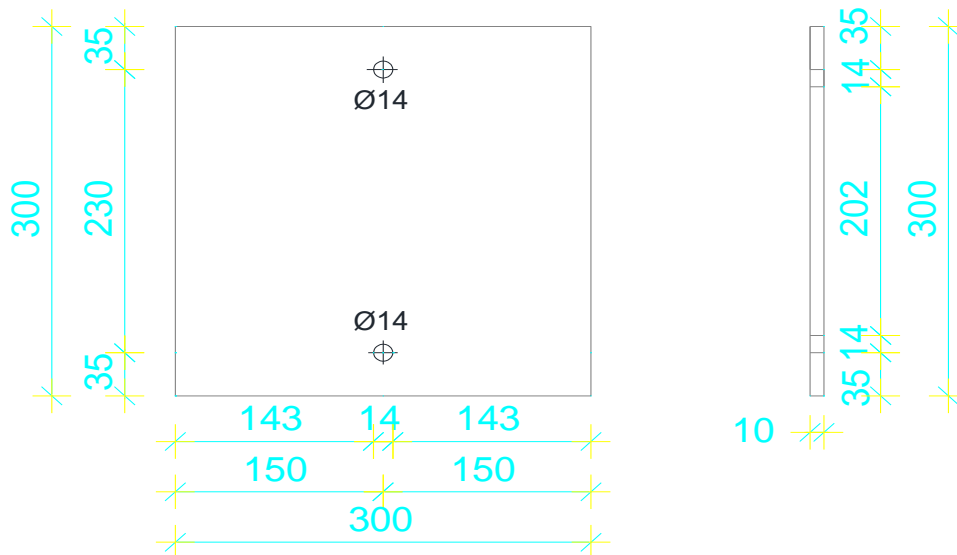
Proračun debljine ploče - t_{pl}^{\min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{7,06}{2} = 3,53 \text{ kN} = F_{b,Ed} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3,53 \cdot 1,25 \cdot 10}{83,1} = 0,53 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče **300x300x10** mm.



7 PRORAČUN TEMELJA

Odabrane dimenzije temelja:

$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$B = 2,0 \text{ m}$$

$$H = 1,0 \text{ m}$$

Materijal:

Temeljno tlo:

$$\sigma_{tla,lim} = 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Beton C25/30

$$f_{ck} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Čelik B500B

$$f_{yk} = 50,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Djelovanja:

$$N_{sd} = -42,36 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 19,06 \text{ kN}$$

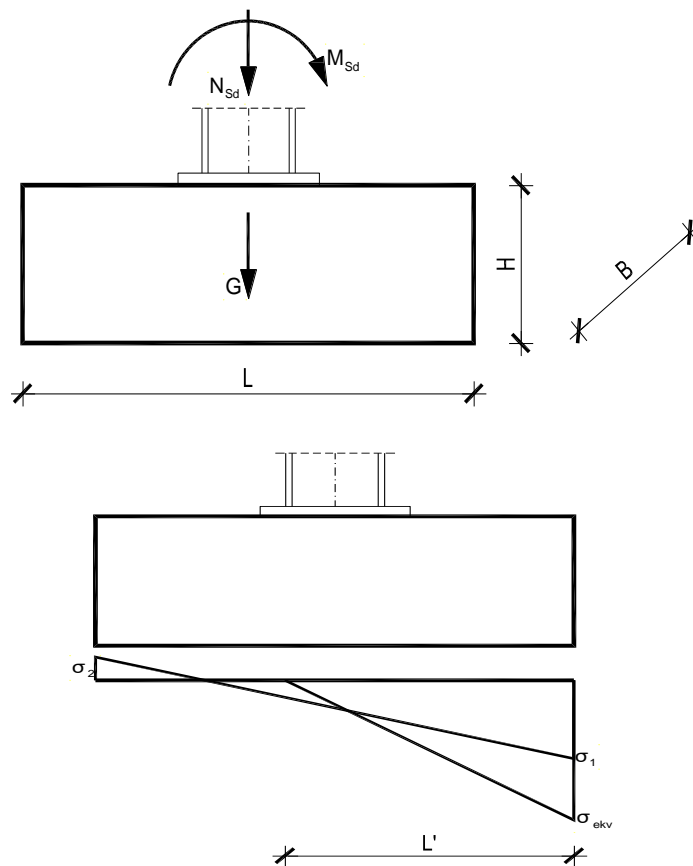
$$M_{sd} = 67,74 \text{ kNm}$$

Površina temeljne stope

$$A = L \cdot B = 2,0 \cdot 2,0 = 4,0 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2,0 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 100,0 \text{ kN}$$



KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

Moment otpora temeljne stope

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2,0 \cdot 2,0^2}{6} = 1,33 \text{ m}^3$$

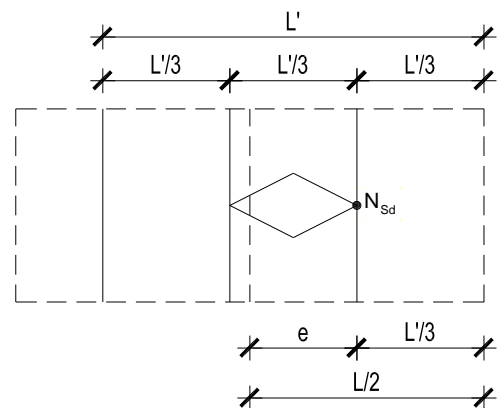
Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{sd} + G}{A} \pm \frac{M_{sd}}{W} = \frac{42,36 + 100,0}{4,0} \pm \frac{67,74}{1,33} = 35,59 \pm 50,93$$

$$\sigma_1 = 86,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_2 = -15,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd} + G} = \frac{67,74}{42,36 + 100,0} = 0,47 \text{ m}$$



$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2,0}{2} - 0,47 \right) = 1,6 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{sd} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (42,36 + 100,0)}{1,6 \cdot 2,0} = 88,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,lim} = 300,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

KATEDRA ZA METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

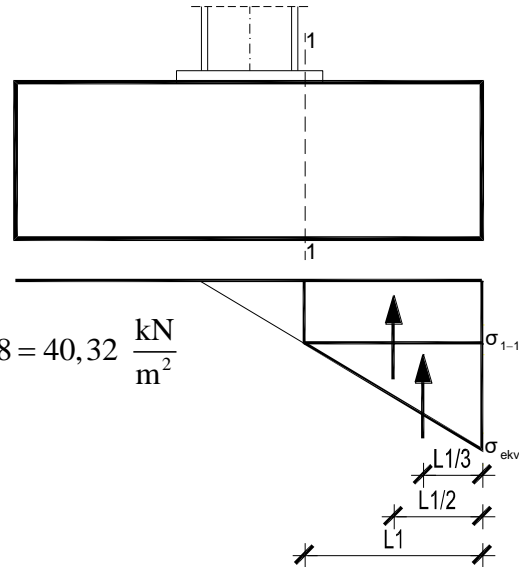
Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,25}{2} = 0,875 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1,6 - 0,875}{1,6} \cdot 88,98 = 40,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$M_{Sd}^{1-1} = \gamma \cdot \left(\sigma_{1-1} \cdot \frac{L_1^2}{2} \cdot B + \frac{\sigma_{ekv} - \sigma_{1-1}}{2} \cdot L_1 \cdot B \cdot \frac{2}{3} \cdot L_1 \right)$$

$$M_{Sd}^{1-1} = 1,4 \cdot \left(40,32 \cdot \frac{0,875^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{88,98 - 40,32}{2} \cdot 0,875 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,875 \right) = 77,99 \text{ kNm}$$



Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ m} = 80 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{7799}{80 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 2,24 \text{ cm}^2 < A_{S1, \min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 20,0 \text{ cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura → $\varnothing 12/10$ 19 kom = 21,48 cm²

razdjelna armatura → $\varnothing 8/25$



8 LITERATURA

- 1.) Prof.dr.sc. Ivica Boko: Napisi za predavanja
- 2.) FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu
- 3.) B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.



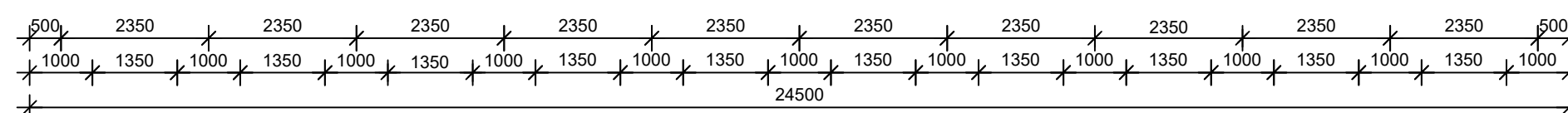
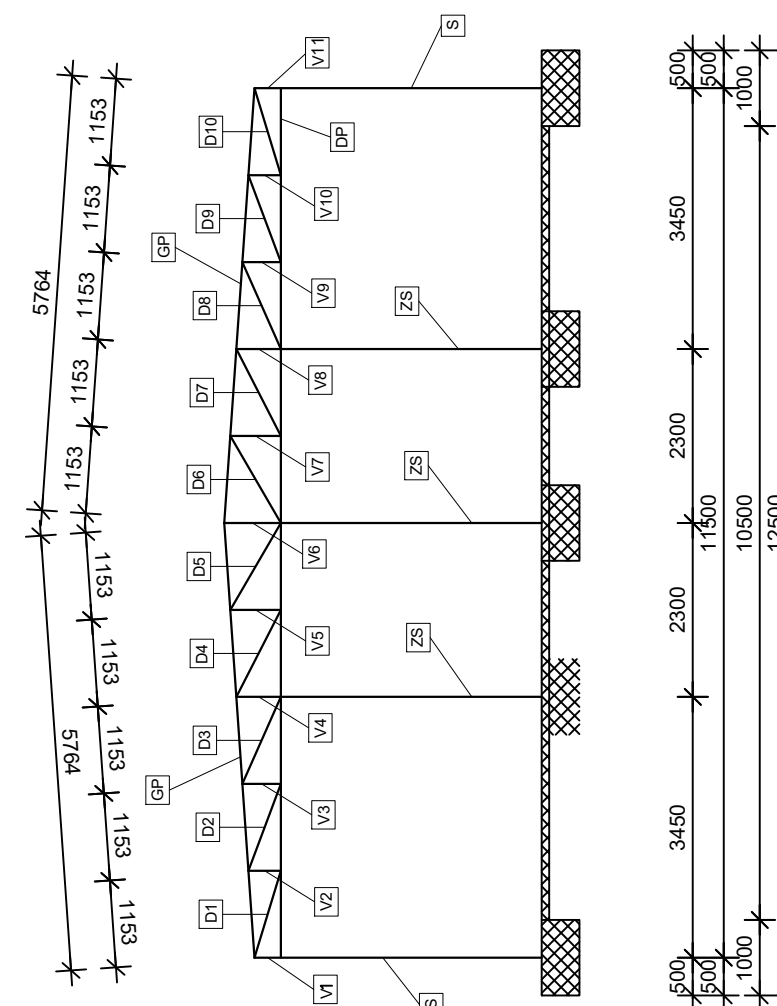
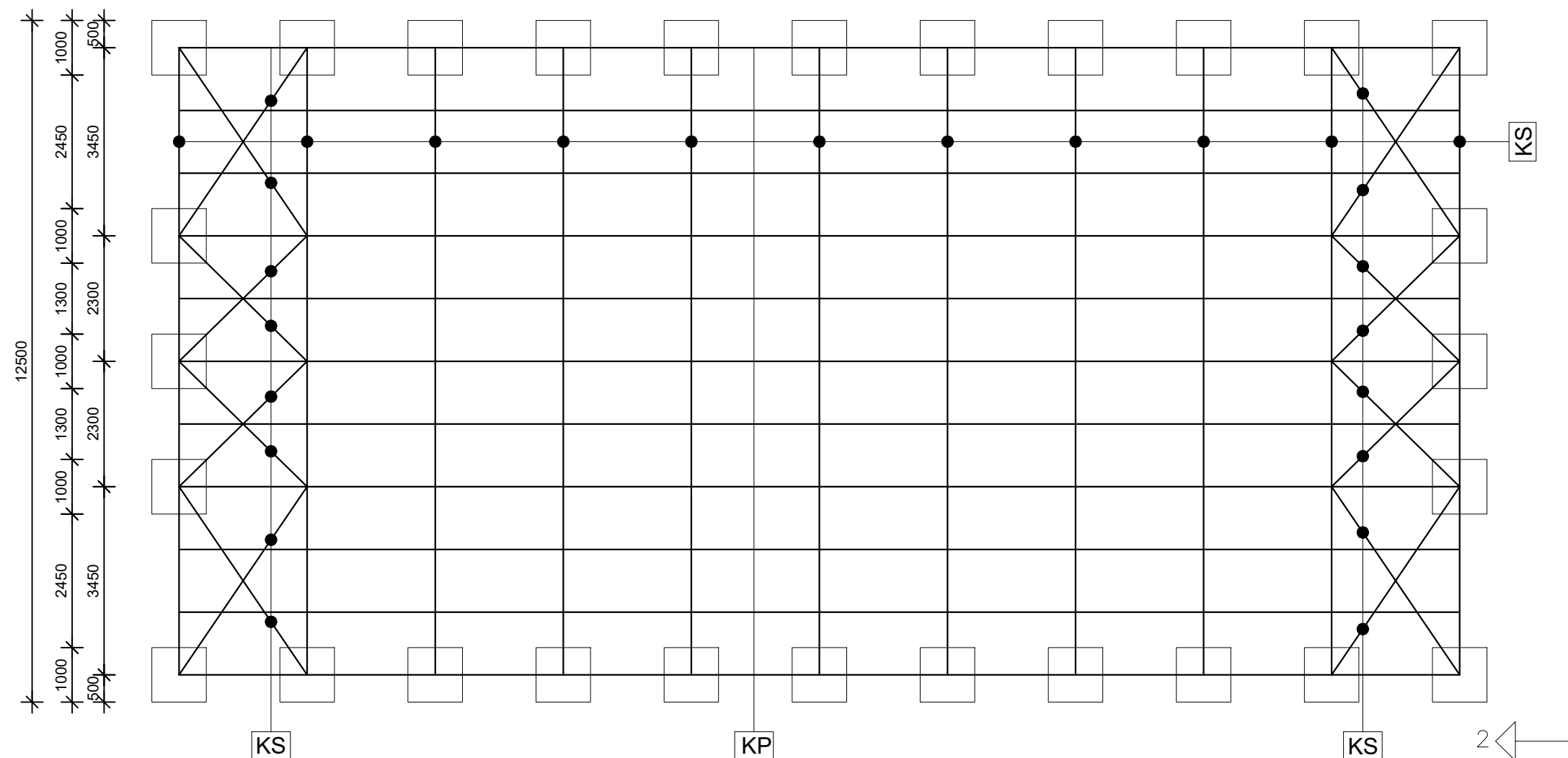
9 NACRTI



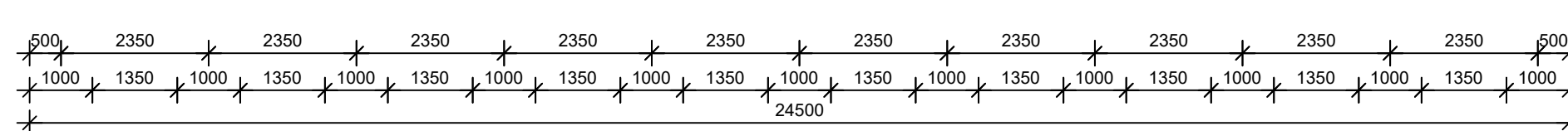
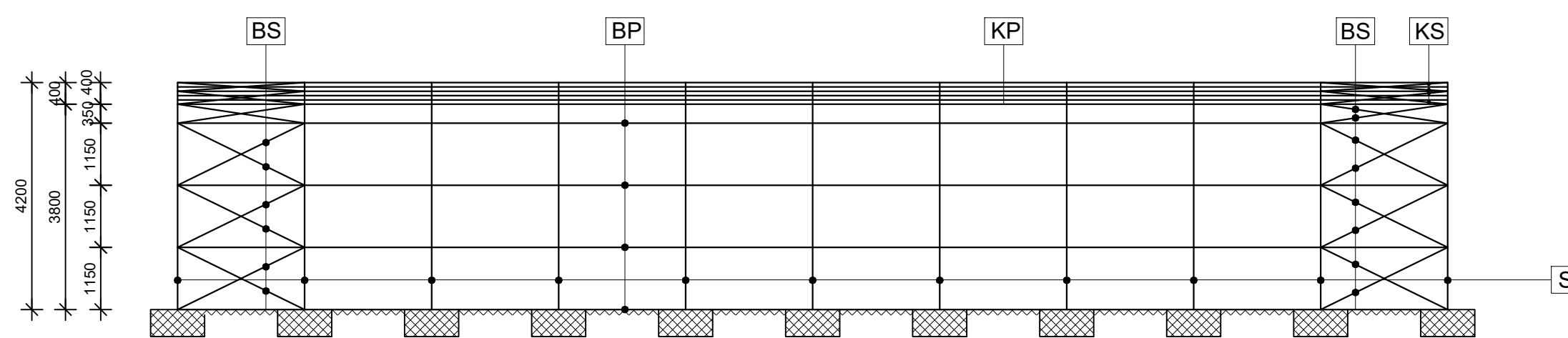
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA

9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200


TLOCRTNI POGLED



UZDUŽNI POGLED



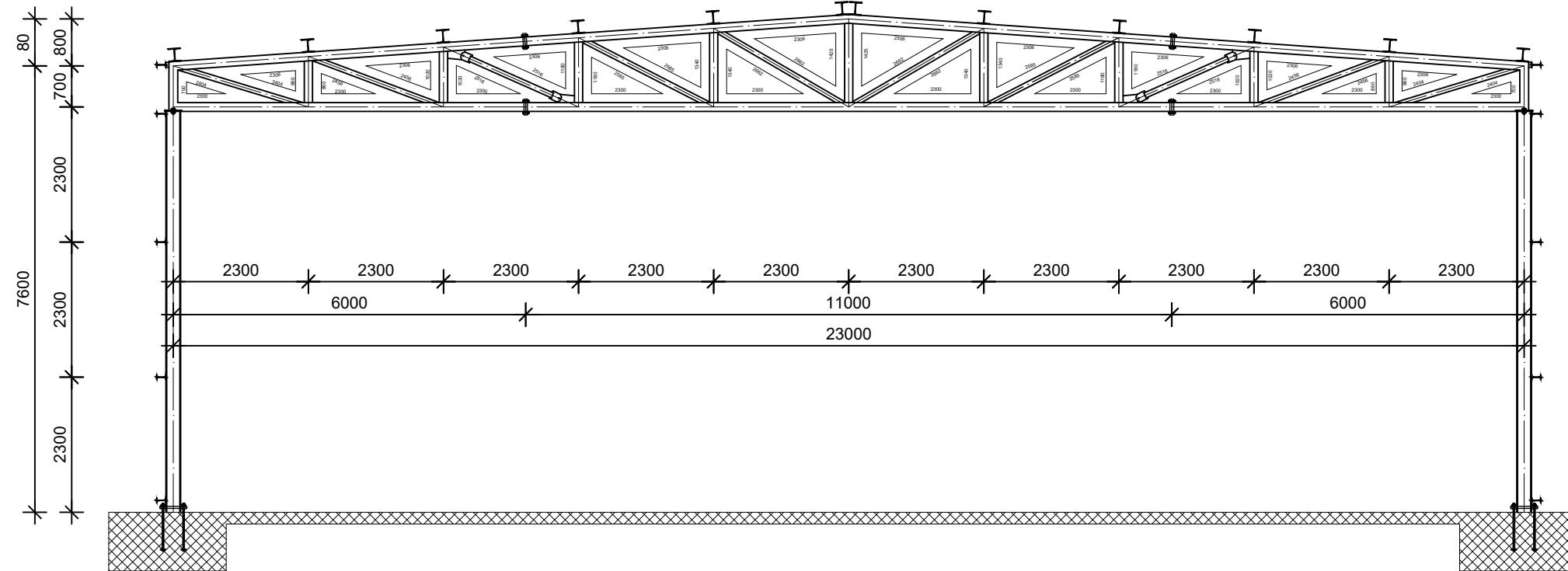
| PRIKAZ I OPIS POZICIJA | | |
|------------------------|-----------------|--|
| POZICIJA | PROFIL | NAZIV |
| STUP (S) | HEA 260 | Stup glavne konstrukcije |
| DONJI POJAS (DP) | SHS 150/150/6.0 | Donji pojas krovne rešetke |
| GORNJI POJAS (GP) | SHS 150/150/6.0 | Gornji pojas krovne rešetke |
| VERTIKALE (V2...V10) | SHS 140/140/4.0 | Unutarnje vertikalne ispune krovne rešetke |
| VERTIKALE (V1,V11) | SHS 150/150/6.0 | Vanjske vertikalne ispune krovne rešetke |
| DIJAGONALE (D) | SHS 90/90/4.0 | Dijagonalne ispune krovne rešetke |
| KROVNA PODR. (KP) | IPE 220 | Sekundarna krovna konstrukcija |
| BOČNA PODR. (BP) | IPE 160 | Sekundarna bočna konstrukcija |
| KROVNI SPREG (KS) | RD 14 | Krovna dijagonala vjetrovnog sprega |
| BOČNI SPREG (BS) | RD 14 | Bočna dijagonala vjetrovnog sprega |
| ZABAT (Z) | HEA 180 | Sekundarna konstrukcija na zabatu hale |

| | | |
|--|---|-------------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT Anđela Čavčić | |
| | SADRŽAJ Generalni plan pozicija | MJERILO 1:200 |
| DATUM srpanj 2020. | BROJ PRILOGA 1 | |



9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR

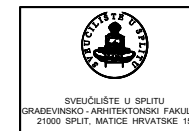
9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50



| PRIKAZ I OPIS POZICIJA | | |
|--------------------------|-----------------|--|
| POZICIJA | PROFIL | NAZIV |
| STUP (S) | HEA 260 | Stup glavne konstrukcije |
| GORNJI POJAS 1 (GP1) | SHS 150/150/6.0 | Gornji pojas 1 krovne rešetke |
| GORNJI POJAS 2 (GP2) | SHS 150/150/6.0 | Gornji pojas 2 krovne rešetke |
| DONJI POJAS 1 (DP1) | SHS 150/150/6.0 | Donji pojas 1 krovne rešetke |
| DONJI POJAS 2 (DP2) | SHS 150/150/6.0 | Donji pojas 2 krovne rešetke |
| KROVNA PODR.(KP) | IPE 220 | Sekundarna krovna konstrukcija |
| BOČNA PODR. (BP) | IPE 160 | Sekundarna bočna konstrukcija |
| DIJAGONALE (D) | SHS 90/90/4.0 | Dijagonalne ispune krovne rešetke |
| UNUTARNJE VERT. (V2,V10) | SHS 140/140/4.0 | Unutarnje vertikalne ispune krovne rešetke |
| VANJSKE VERT. (V1,V11) | SHS 150/150/6.0 | Vanjske vertikalne ispune krovne rešetke |

Napomena:
Materijal konstrukcije za sve elemente
je S235.

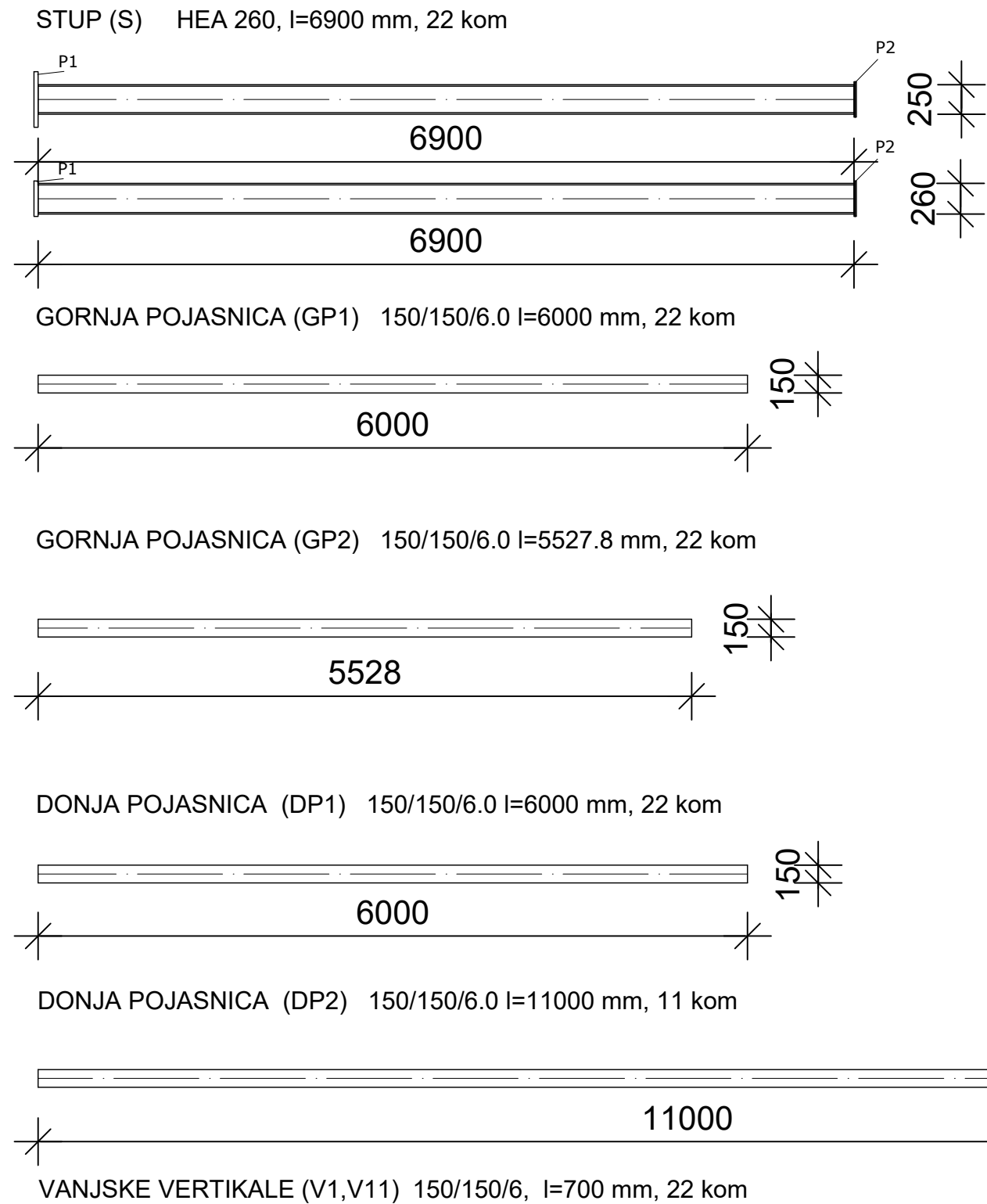
| Osnove metalnih konstrukcija | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------|------|
| TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | | |
| STUDENT | Andela Čavčić | | |
| SADRŽAJ | Presjek kroz glavni okvir | MJERILO | 1:50 |
| DATUM | srpanj 2020. | BRJLO PRIOLOGA | 2 |





9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

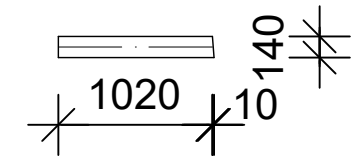
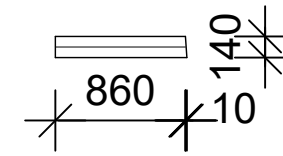
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50



ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE SHS 140/140/4

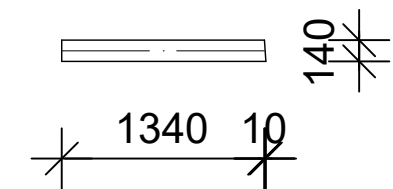
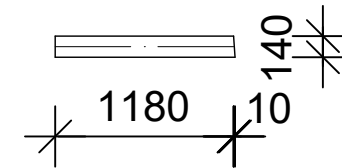
(V2) l=860 mm, 22 kom

(V3) l=1020 mm, 22 kom

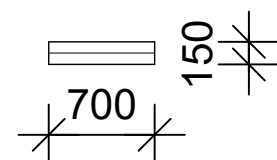
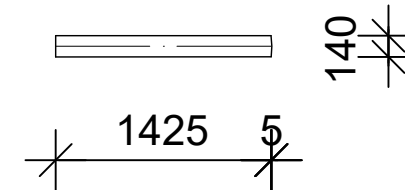



(V4) l=1180mm, 22 kom

(V5) l=1340 mm, 22 kom



(V6) l=1425 mm, 11 kom

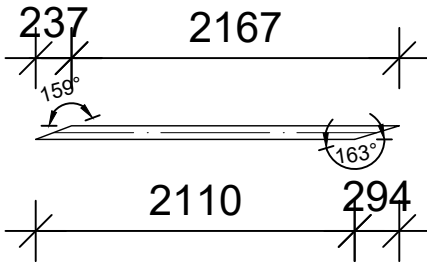


| | | |
|--|------------------------------|--------------------------------------|
|  SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
| | STUDENT | Anđela Čavčić |
| | SADRŽAJ | Radionički nacrt, glavni nosač |
| DATUM | srpanj 2020. | MJEILO 1:50 BROJ PRILOGA 3 |

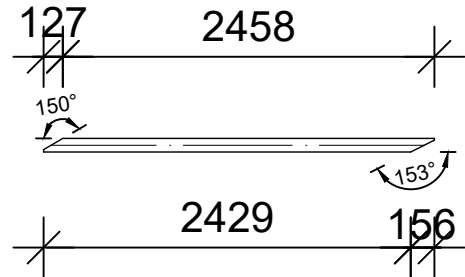
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, SHS 90/90/4.0

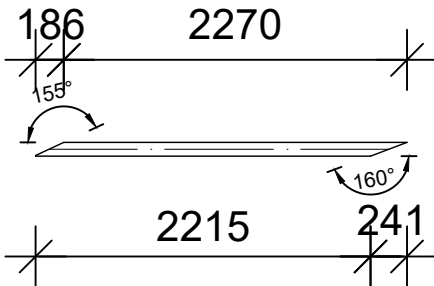
(D1) l=2404 mm, 22 kom



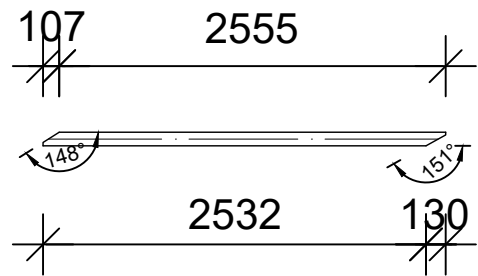
(D4) l=2585 mm, 22 kom



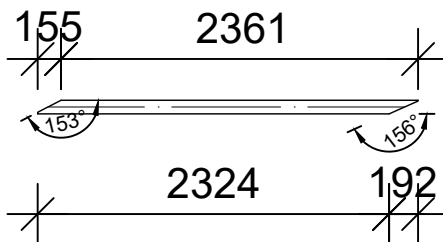
(D2) l=2456 mm, 22 kom




(D5) l=2662 mm, 22 kom



(D3) l=2516 mm, 22 kom



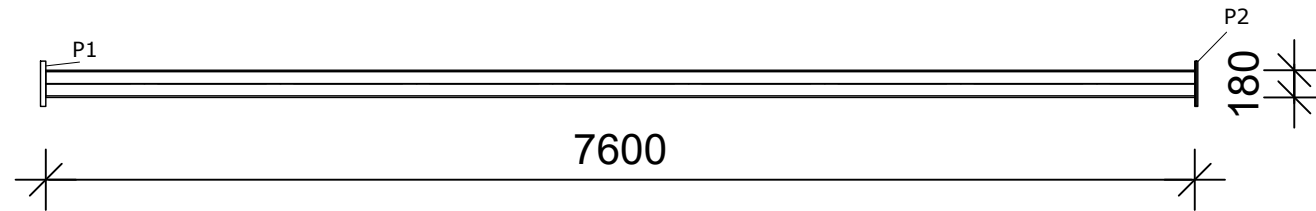
| | | |
|--|------------------------------|--------------------------------------|
|  SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
| | STUDENTI | Anđela Čavčić |
| | SADRŽAJ | Radionički nacrt, glavni nosač |
| | DATUM | srpanj 2020. |
| | MJERILO | 1:50 |
| | BROJ PRILOGA | 4 |



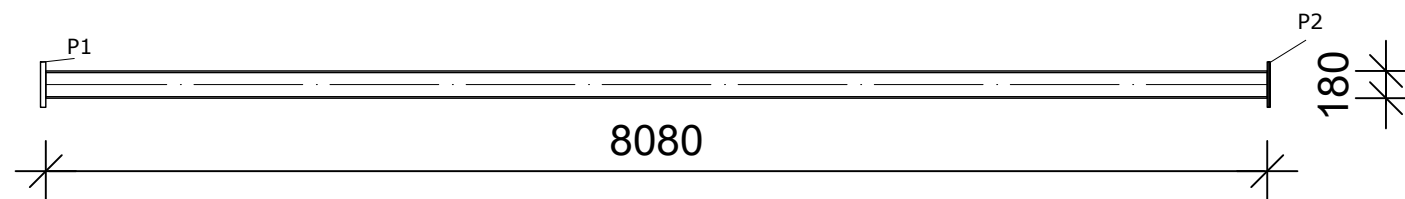
9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA

9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA M 1:50

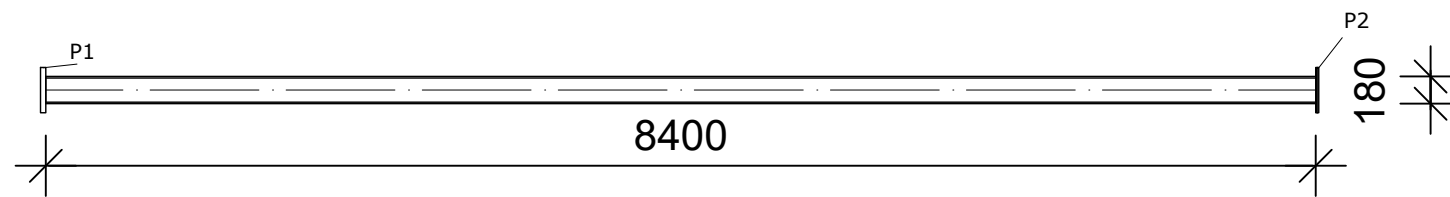
ZABATNI STUP (ZS1) HEA 180, l=8080 mm, 2 kom



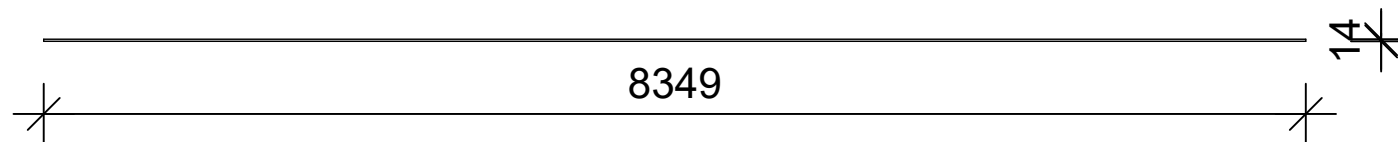
ZABATNI STUP (ZS2) HEA 180, l=8080 mm, 2 kom



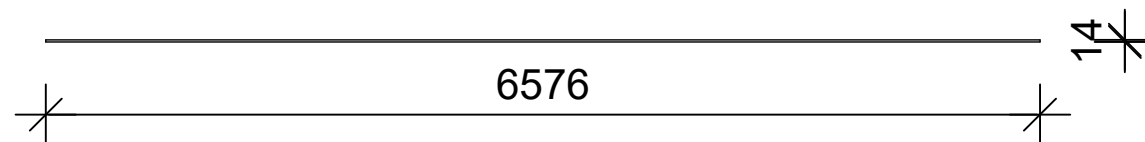
ZABATNI STUP (ZS3) HEA 180, l=8400 mm, 1 kom



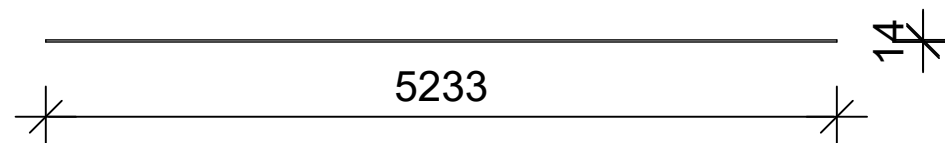
KROVNI SPREG (KS1) RD14, l=8348,6 mm, 8 kom



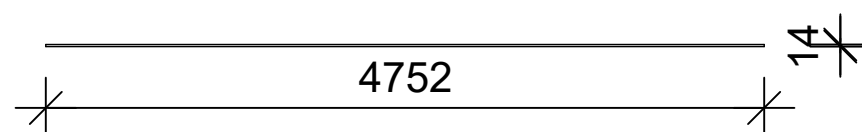
KROVNI SPREG (KS2) RD14, l=6576,4 mm, 8 kom



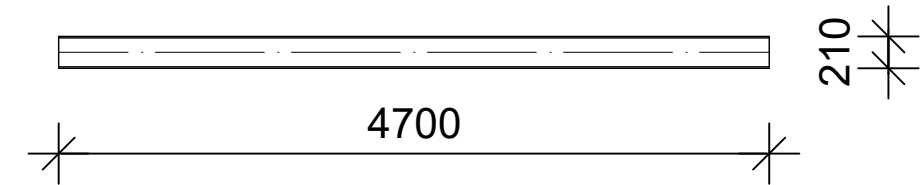
BOČNI SPREG (BS1) RD14, l=5232,6 mm, 12 kom



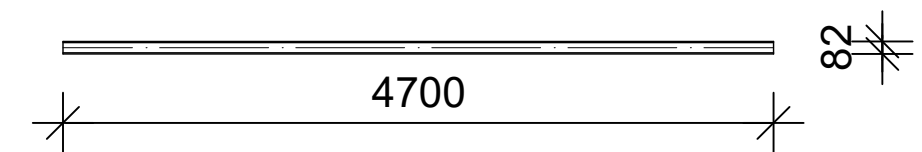
BOČNI SPREG (BS2) RD14, l=4751,8 mm, 4 kom




KROVNA PODROŽNICA (KP) IPE 220, l=4700 mm, 132 kom



BOČNA PODROŽNICA (BP) IPE 160, l=4700 mm, 50 kom



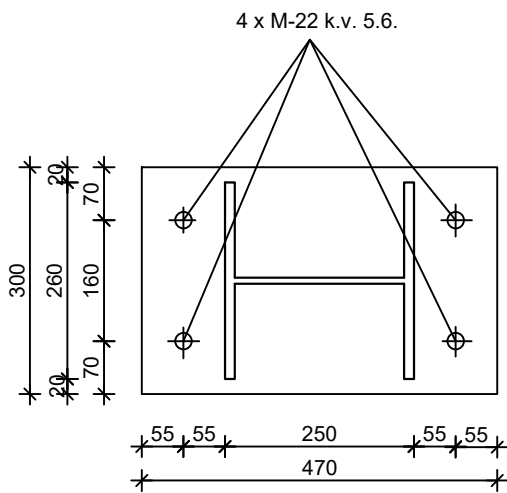
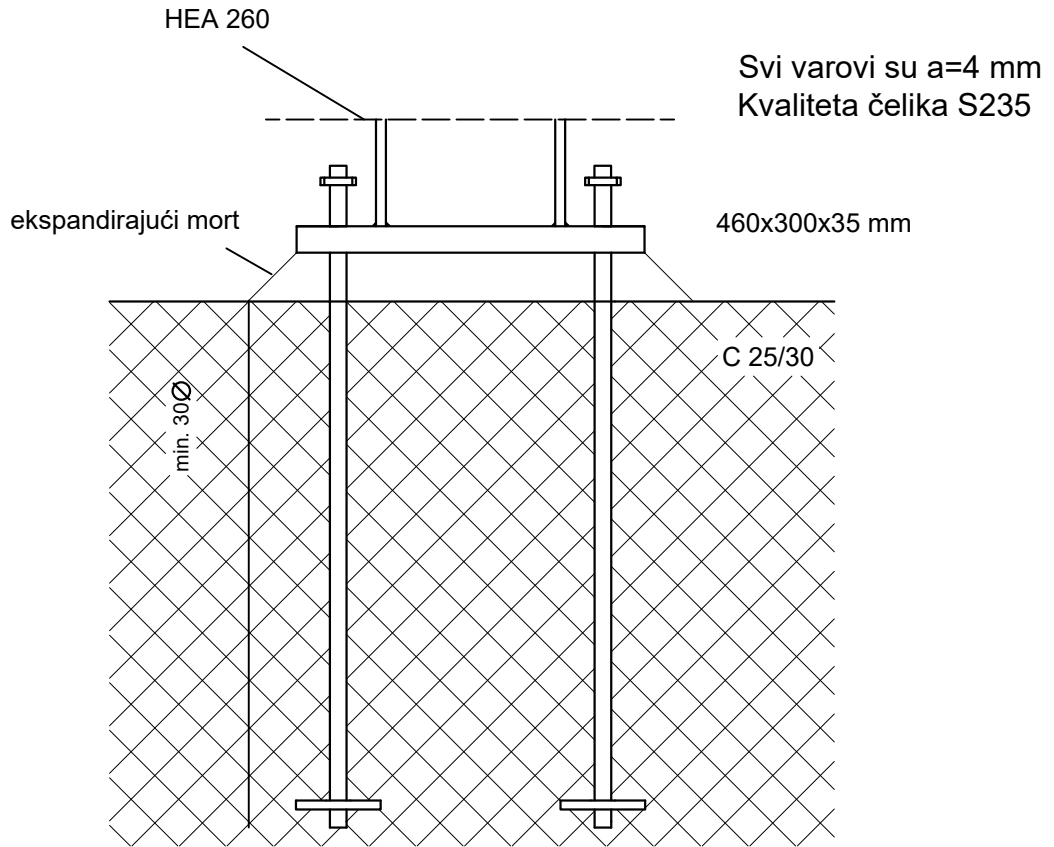
| | | |
|--|------------------------------|--------------------------------------|
|  SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA | PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE |
| | STUDENT | Anđela Čavčić |
| | SADRŽAJ | Radionički nacrt, sekundarni nosač |
| DATUM | srpanj 2020. | MJEILO 1:50 BROJ PRILOGA 5 |



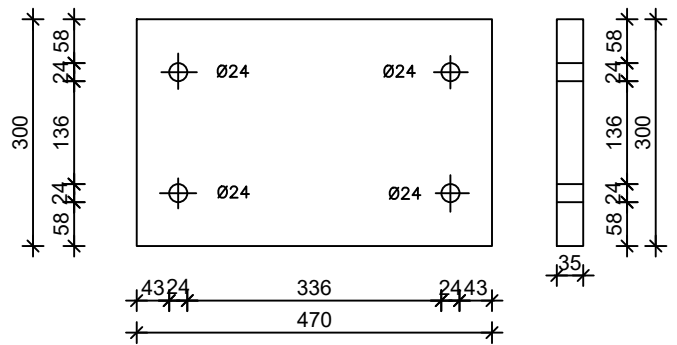
9.5 DETALJ „D1“ SPOJ STUP-TEMELJ

9.5 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ

M 1:10



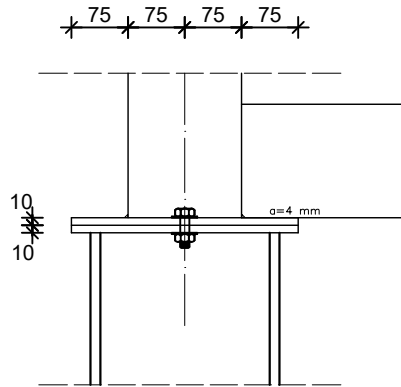
PLOČICA P1 460x300x35 mm kom=22



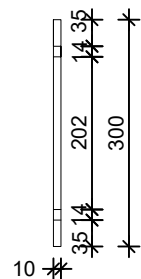
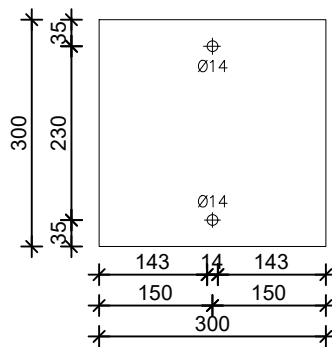
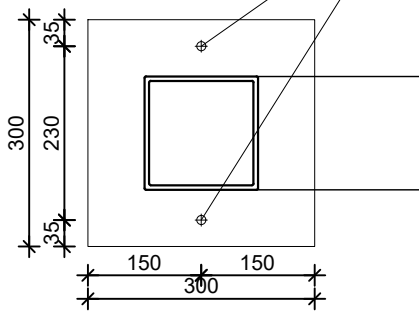



9.6 DETALJ „D2“ SPOJ STUP-REŠETKA

9.6 ZGLOBNA VEZA STUP-REŠETKA M 1:10



2 x M-12 k.v. 5.6 PLOČICA P2 300x300x10 mm kom=22

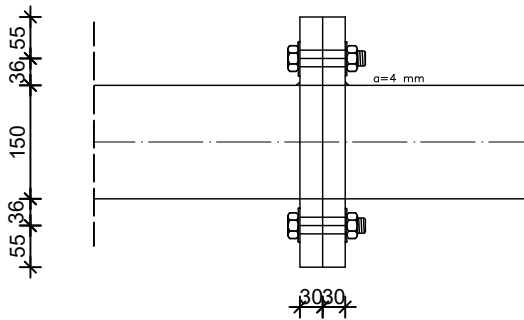


| | | |
|--|--|-------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT Anđela Čavčić | |
| | SADRŽAJ Spoj stup-rešetka | MJERILO 1:10 |
| | DATUM srpanj 2020. | BROJ PRILOGA 7 |

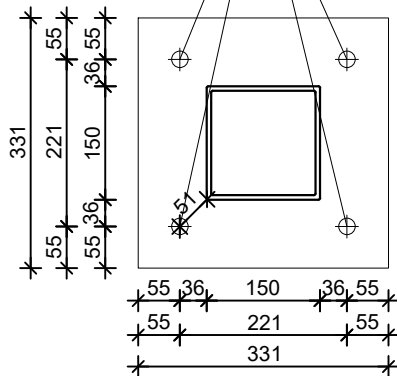


9.7 DETALJ „D3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

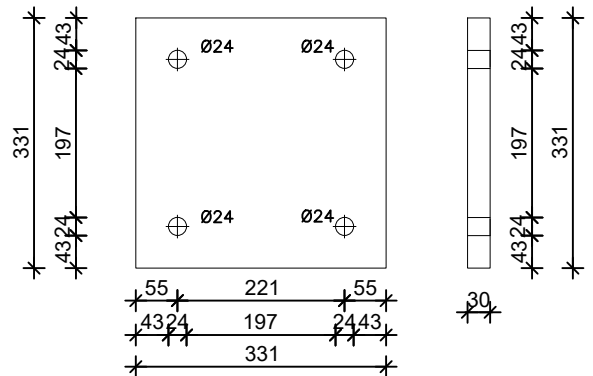
9.7 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE M 1:10




4 x M-22 k.v. 5.6



PLOČICA P3 331x331x30 mm kom=88




| | | |
|--|--|-------------------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT Anđela Čavčić | |
| | SADRŽAJ Vlačni nastavak rešetke | MJERILO 1:10 |
| | DATUM srpanj 2020. | BROJ PRILOGA 8 |



10 ISKAZ MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

| POZICIJA | PROFIL | DUŽINA (mm) | KOMADA | JED. TEŽINA (kg/m) | UKUPNA TEŽINA (kg) |
|--|------------|---------------------------|--------|---------------------------|-----------------------------|
| Stup (S) | HEA 260 | 6900 | 22 | 68,20 | 10352,76 |
| Donji pojas (DP1) | 150x150x6 | 6000 | 22 | 26,64 | 3516,48 |
| Donji pojas (DP2) | 150x150x6 | 11000 | 11 | 26,64 | 3194,4 |
| Gornji pojas (GP1) | 150x150x6 | 6000 | 22 | 26,64 | 3484,8 |
| Gornji pojas (GP2) | 150x150x6 | 5527.8 | 22 | 26,64 | 3210,55 |
| Vertikala (V1) | 150x150x6 | 700 | 22 | 26,64 | 406,56 |
| Vertikala (V2) | 140x140x4 | 860 | 22 | 16,87 | 319,18 |
| Vertikala (V3) | 140x140x4 | 1020 | 22 | 16,87 | 378,56 |
| Vertikala (V4) | 140x140x4 | 1180 | 22 | 16,87 | 437,95 |
| Vertikala (V5) | 140x140x4 | 1340 | 22 | 16,87 | 497,33 |
| Vertikala (V6) | 140x140x4 | 1425 | 11 | 16,87 | 264,44 |
| Dijagonala (D1) | 90x90x4 | 2404 | 22 | 10,59 | 560,08 |
| Dijagonala (D2) | 90x90x4 | 2456 | 22 | 10,59 | 572,2 |
| Dijagonala (D3) | 90x90x4 | 2516 | 22 | 10,59 | 586,18 |
| Dijagonala (D4) | 90x90x4 | 2585 | 22 | 10,59 | 602,25 |
| Dijagonala (D5) | 90x90x4 | 2662 | 22 | 10,59 | 620,19 |
| Pločica (P1) | 460x300x35 | Proračun preko zapremnine | 22 | 7850 (kg/m ³) | 834,14 |
| Pločica (P2) | 300x300x10 | Proračun preko zapremnine | 22 | 7850 (kg/m ³) | 155,43 |
| Pločica (P3) | 331x331x30 | Proračun preko zapremnine | 88 | 7850 (kg/m ³) | 2270,54 |
| Krovna podrožnica (P1) | IPE220 | 4700 | 132 | 26,20 | 16254,48 |
| Bočna podrožnica (P2) | IPE160 | 4700 | 50 | 15,80 | 3713 |
| Kr. spreg (KS1) | Ø14 | 8348,6 | 8 | 1,21 | 80,81 |
| Kr. spreg (KS2) | Ø14 | 6576,4 | 8 | 1,21 | 63,66 |
| Boč. spreg (BS1) | Ø14 | 5232,6 | 12 | 1,21 | 95,49 |
| Boč. spreg (BS2) | Ø14 | 4751,8 | 4 | 1,21 | 69,0 |
| Zabatni stup(ZS1) | HEA180 | 7600 | 2 | 35,5 | 539,6 |
| Zabatni stup(ZS2) | HEA180 | 8080 | 2 | 35,5 | 573,68 |
| Zabatni stup(ZS3) | HEA180 | 8400 | 1 | 35,5 | 298,2 |
| Ukupno (kg) +2,0% spojna sredstva | | | | | 53951,94 1079,04 |
| UKUPNO (kg) | | | | | 55030,98 |
| UKUPNO (kg/m²) | | | | | 50,91 |

| | | |
|--|---|--------------------------------|
|  SVEUČILIŠTE U SPLITU GRADEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | Osnove metalnih konstrukcija | |
| | TEMA PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE | |
| | STUDENT Anđela Čavčić | |
| | SADRŽAJ Predmjer materijala | MJERILO BROJ PRILOGA |
| | DATUM srpanj 2020. | |