Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Antolović, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:940631

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Marija Antolović

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Marija Antolović

Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Završni rad

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI STRUČN STUDI GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Marija Antolović
BROJ INDEKSA: 1653
KATEDRA: **Katedra za metalne i drvene konstrukcije**
PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije.
Način izvedbe: montažno
Materijal konstrukcije: S275
Objekt se nalazi na području Kutine.
Razmak okvira: 5,2 (m)

U Splitu,18.10.2017. Voditelj Završenog rada: prof.dr.sc. Ivica

Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Sažetak:

Tema završnog rada je proračun čelične konstrukcije proizvodne hale koja je smještena u Kutini. Potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju- stupove i grede, sekundarnu nosivu konstrukciju- krovne i bočne sekundarne nosače te spregove, spojeve i temelje. Svi proračuni izvode se prema normama Eurocode-a.

Ključne riječi:

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, greda, stup, dimenzioniranje, spojevi.

Design of a steel multifunctionality hall

Abstract:

Subject of this work is desin of a steel manufacturing hall placed in Osijek. It is necessary to dimension the main supporting structure – columns and beams, secondary supporting structure – roof and lateral secondary girders, and bracings, joints and foundations. All calculations were done according to Eurocode norms.

Keywords:

Steel, hall, supporting structure, bracings, beam, column, design, joints.

SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS 6

1.1. OPIS KONSTRUKCIJE 6
1.1.1. Općenito 6
1.1.2. Konstruktivni elementi 7
1.1.3. Spojevi 8

1.2. O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE 8

1.3. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE 9

1.4. PRIMIJENJENI PROPISI 9

1.5. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA 10

1.6. ZAŠTITA OD POŽARA 10

2. ANALIZA OPTEREĆENJA 11

2.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR) 11
2.1.1. Dodatno stalno opterećenje 11
2.1.2. Promjenjivo opterećenje 12

2.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 24
2.2.1. Stalno opterećenje 25
2.2.2. Pokretno opterećenje 26

3. KONTROLA PROGIBA (GSU) 29

3.1. GREDA 29

3.2. STUP 29

4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN) 30

4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 30
4.1.1. Kombinacija 1,35·V.T. + 1,35·G + 0,9·(1,5·S + 1,5·W2) 30
4.1.2. Kombinacija 1,35·V.T. + 1,35·G + 1,5·S 31
4.1.3. Kombinacija 1,0·V.T. + 1,0·G + 1,5·W1 33

4.2. SEKUNDARNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 34
4.2.1. Sekundarni krovni nosači-podrožnicee 34
4.2.2. Sekundarni bočni nosači 38

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE 42

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 42
5.1.1. Greda 42
5.1.2. Stup 49

5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 56
5.2.1. Krovni spregovi 56
5.2.2. Bočni spregovi 58
5.2.3. Sekundarni krovni nosači (podrožnice) 60
5.2.4. Sekundarni bočni nosači 70

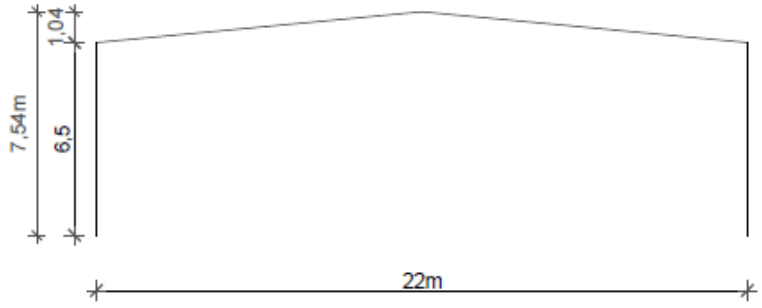
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA 81
6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ ''D1'' 81
6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-GREDA ''D2'' 87
6.3. DIMENZIONIRANJE SPOJA GREDE U SLJEMENU ''D3'' 92
6.4. DIMENZIONIRANJE SPOJA NASTAVKA GREDE ''D4'' 96
6.5. DIMENZIONIRANJE SPOJA KROVNE PODROŽNICE NA GREDU ''D5'' 100
7. PRORAČUN TEMELJA 102
LITERATURA 104
8. NACRTI 105

1. Tehnički opis

1.1. Opis konstrukcije:

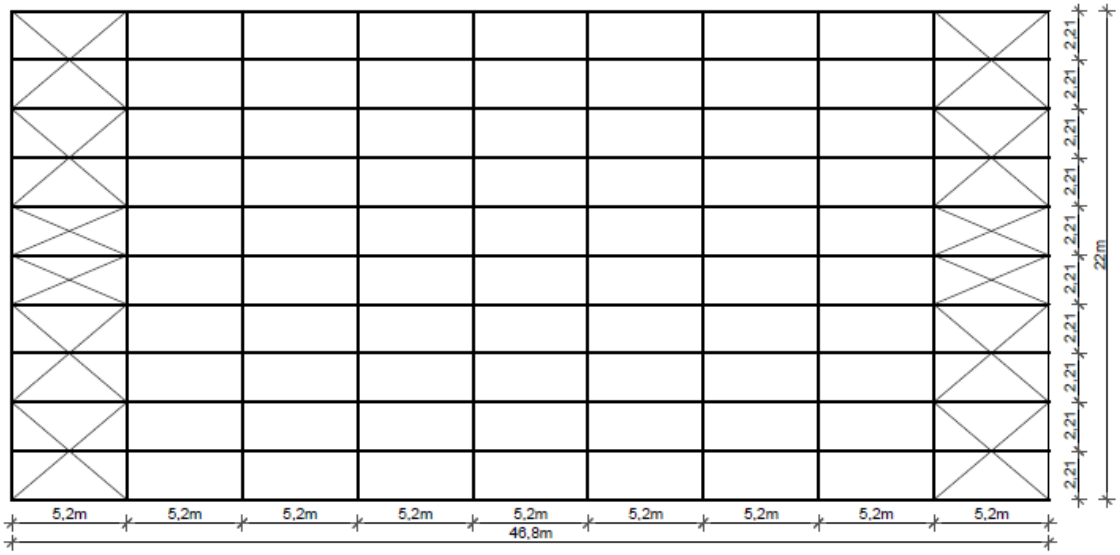
1.1.1. Općenito

Predmetna građevina nalazi se na području grada Kutine. Tlocrtne dimnzije su 22x46,8(m), a visina iznosi 7,54 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom α = 5,4°, što je ekvivalentno nagibu od 5%. Projektirana je za višenamjensku uporabu.



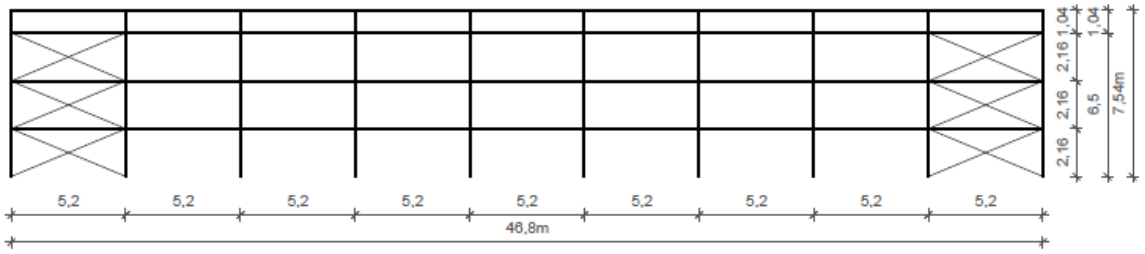
Slika 1.1.1.1. Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10 ravninskih okvira raspona 22 (m) stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 5,2 (m).



Slika 1.1.1.2. Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,21 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,16 (m).



Slika 1.1.1.3. Bočni prikaz konstrukcije

Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem). Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli. Stupovi i grede su nosači međusobno spojeni upetim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je također upetom vezom.

1.1.2. Konstruktivni elementi

Grede

Proračunom su odabrane dvije grede valjanih I profila HEA400 (mm) dužine po 11,05m. Svaka greda je napravljena od dva dijela. Vanjski dio grede je dužine 5m, a unutarnji 6,05m.

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA500 ukupne dužine 6,5m.

Podrožnice

Proračunom su odabrane podrožnice valjanih I profila IPE 270.

Sekundarni bočni nosači

Proračunom su odabrani sekundarni bočni nosači valjanih I profila IPE 180.

Spregovi

Kao dijagonale krovnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 16 (mm). Kao dijagonale bočnog sprega su odabrani, kao i kod krovnog sprega, okrugli puni profili promjera 16 (mm)

Temelji

Proračunom su odabrani temelji dimenzija 2,5 x 3,0 x 1,5 (m).

1.1.3. Spojevi

Stup – temelj **-** Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 800/550/40 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M36 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.

Stup – greda **-** Spoj grede na stup ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 850/550/40 (mm) i vijcima M36 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

Greda –greda **-** Spoj grede i grede ostvaren je pločama dimenzija 850/500/40(mm)

Nastavak grede **-** Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 850/400/40 (mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M36 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

Spoj krovne podrožnice i grede **-** Spoj se izvodi međusobnim povezivanjem vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez. Spajaju se direktno pojasnice krovne podrožnice i grede.

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 26 (m) širine krovne plohe. Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 17 “ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti. Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 9 polja. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

1.3. Materijal za izradu kosntrukcije

Svi elementi konstrukcije izrađeni su od građevinskog čelika S275.
Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.
Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom.

1.4. Primijenjeni propisi

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

HR EN 1991-2-1	vlastita težina građevine
HR EN 1991-2-3	djelovanje snijega na konstrukciju
HR EN 1991-2-4	djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje

HR EN 1993	dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
HR EN 1992	dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija

1.5. Antikorozijska zaštita

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju 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. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 µm**.**

1.6. Zaštita od požara

U svrhu produljenja zagrijavanja konstruktivnih elemenata predmetne hale, svi takvi elementi moraju se zaštiti posebnim premazima otpornim na visoke temperature. Također je potrebno opremiti objekt za slučaj nastanka požara uređajima za najavu požara kao i opremom za njegovo gašenje.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

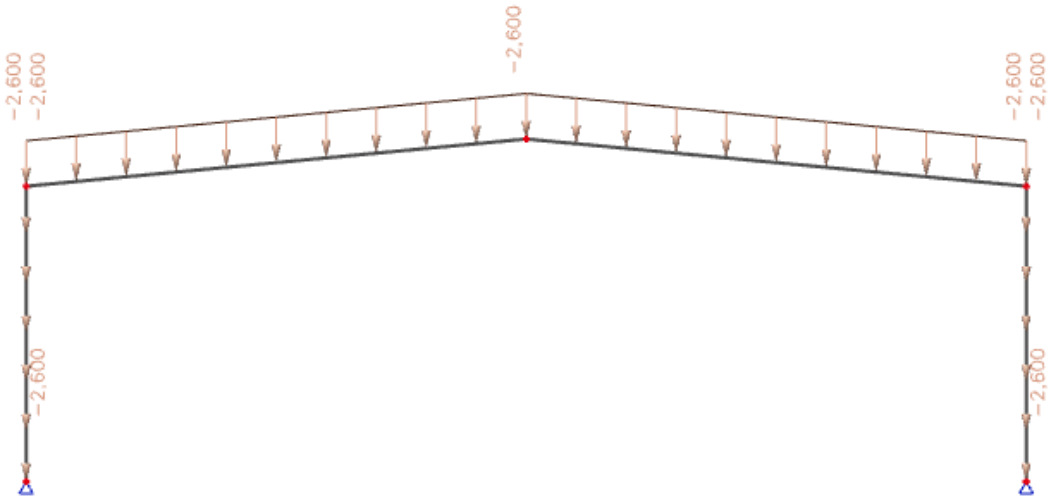
2.1. Glavna nosiva konstrukcija (okvir)

2.1.1. Dodatno stalno opterećenje

- sendvič paneli (aluminij)	**0,20**	**kN/m²**
- sekundarna konstrukcija i spregovi	**0,20**	**kN/m²**
- instalacije	**0,10**	**kN/m²**
∑ =	**0,50**	**kN/m²**

G_{kp} = 0,50 kN/m² · 5.2 m = 2,60 kN/m'

Dodatno stalno opterećenje raspodijeljeno je po krovnoj plohi i bočnim stranama konstrukcije.



Slika 2.1.1.1.. Prikaz dodatnog stalnog opterećenja

2.1.2. Promjenjivo opterećenje

2.1.2.1.Djelovanje snijega

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k (kN/m^2)$$

μ_i = koeficijent oblika opterećenja snijegom, ovisi o nagibu krovišta, za nagib od $5{,}4^0$ iznosi 0,8

C_e - koeficijent izloženosti = 1,0

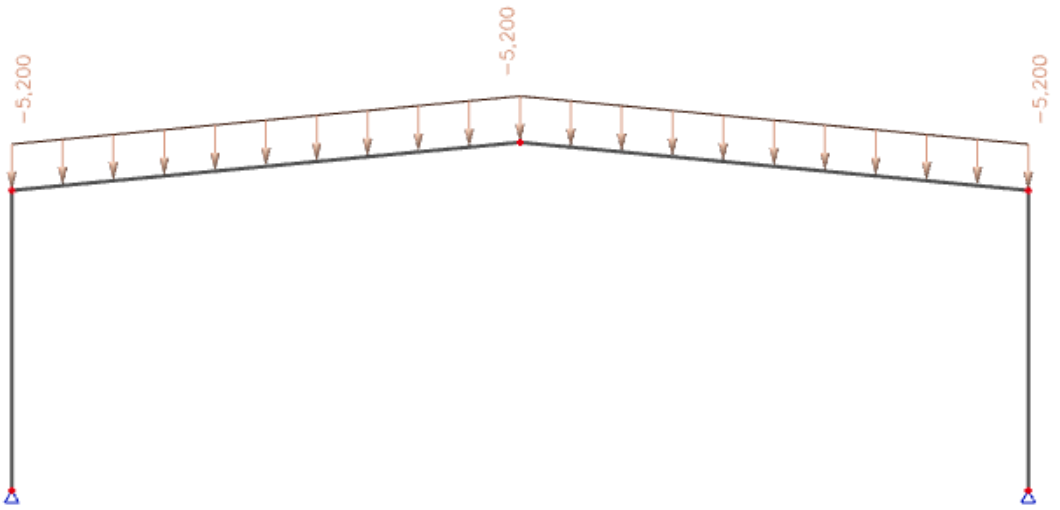
C_t – toplinski koeficijent = 1,0

s_k- karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu, iznosi 1,25

$s = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}25 = 1{,}00$ [kN/m^2]

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$S = s \cdot n = 1{,}0 \cdot 5{,}2 = 5{,}20$ [kN/m']



Slika 2.1.2.1.1. Prikaz opterećenja snijegom

2.1.2.2.Djelovanje vjetra

$\mathbf{w_i = q_p(z) \cdot c_{pi}}$ **[kN/m^2]** - pritisak vjetra na unutrašnje površine

$\mathbf{w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}}$ **[kN/m^2]** - pritisak vjetra na vanjske površine

$\mathbf{q_p}$ - pritisak brzine vjetra pri udaru

z – referentna visina za pritisak, u našem slučaju iznosi 10m

$\mathbf{c_{pi}}$ **/** $\mathbf{c_{pe}}$ – koeficijenti pritiska za vanjski i unutarnji vjetar

c_{pi} = +0,2 c_{pi}=-0,3 c_{pe} – određuje se prema zonama krovišta

$\mathbf{q_p = c_e(z) \cdot q_b}$

$\mathbf{c_e(z)}$ **–** koeficijent izloženosti, za područje Kutinu iznosi 1,68

$\mathbf{q_b}$ **–** osnovni pritisak vjetra $\mathbf{q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2}$

ρ – gustoća zraka, iznosi 1,25kg/m^3

v_b^2 – osnovna brzina vjetra, $\mathbf{v_b} = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b/o}$

c_{dir} – faktor smijera vjetra, iznosi 1

c_{season} – faktor doba godine, iznosi 1

$v_{b/o}$ – očitavamo iz karte vjetra, za Kutinu iznosi 20m/s

$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 20 = 20$ m/s

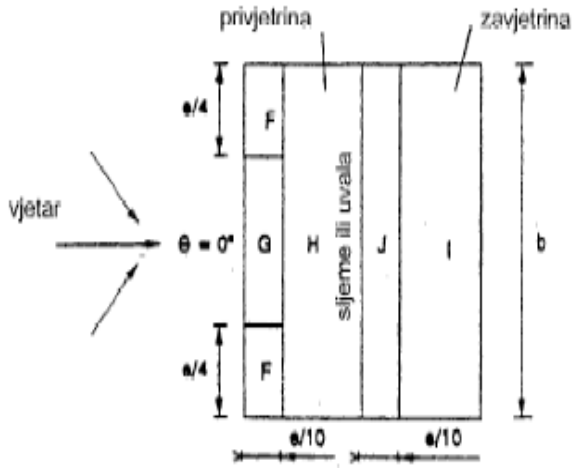
$\mathbf{q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 400 = 250,00N = 0,25kN/m^2}$

$q_p = 1,68 \cdot 0,25 = 0,42$

$w_{i1} = 0,42 \cdot 0,2 =$ **0,084 [kN/m^2]**

$w_{i2} = 0,42 \cdot (-0,3) =$ **-0,126 [kN/m^2]**

2.1.2.2.1. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova Θ=0



Za dvostrešne krovove koeficijenti vanjskog pritiska određuju se tako da se krovna površina podijeli na zone, dok se referentna visina z_e uzima kao ukupna visina građevine.

e = min { b, 2z } $\frac{e}{10} = \frac{15,1}{10} = 1,5m$

e = min {46,8;15,1 } $\frac{e}{4} = \frac{15,1}{4} = 3,8m$

e = 15,1 m

$$\frac{h}{d} = \frac{z}{L} = \frac{15,1}{22} = 0,686$$

PODRUČJE	$C_{pe,10+}$	$C_{pe,10-}$	w_{e+}(kN/m²)	W_{e-}(kN/m²)
F	**0,01**	**-1,67**	**0,0042**	**-0,7014**
G	**0,01**	**-1,18**	**0,0042**	**-0,4956**
H	**0,01**	**-0,59**	**0,0042**	**-0,2478**
J	**-0,58**	**-0,62**	**-0,2436**	**-0,2604**
I	**-0,58**	**-0,59**	**-0,2436**	**-0,2478**
D	**0,71**	**-**	**+0,2982**	**+0,2982**
E	**-0,31**	**-**	**-0,1302**	**-0,1302**

Tablica 2.1.2.2.1.1. Vanjski koeficijenti pritiska $c_{pe,10}$ za nagib 5,4°

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e$ ''+'' w_i (kN/m^2)

W_k (kN/m') = $w_k \cdot n = w_k \cdot 5{,}2$ m

Vjetar W_1

PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
w_{e-}	-0,7014	-0,4956	-0,2478	-0,2604	-0,2478	+0,2982	-0,1302
w_{i+}	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840
w_k(kN/m^2)	-0,7854	-0,5796	-0,3318	-0,3444	-0,3318	+0,2142	-0,2142
W_k(kN/m')	**-4,0841**	**-3,0139**	**-1,7254**	**-1,7909**	**-1,7254**	**+0,4284**	**-0,4284**
W_k(kN)	-9,0250	-6,6904	-3,8300	-3,9755	-3,8300	+2,4726	-2,4726

Tablica 2.1.2.2.1.2. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan vanjski i pozitivan unutarnji pritisak

Vjetar W_2

PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
w_{e-}	-0,7014	-0,4956	-0,2478	-0,2604	-0,2478	+0,2982	-0,1302
w_{i-}	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260
w_k (kN/m^2)	-0,5754	-0,3696	-0,1218	+0,1344	+0,1218	+0,4242	-0,0042
W_k(kN/m')	-2,9902	-1,9219	-0,6333	+0,6988	+0,6333	+2,2058	-0,0218
W_k(kN/m^2)	-6,6419	-4,2664	-1,4059	+1,5514	+1,4060	+4,8966	-0,0485

Tablica 2.1.2.2.1.3. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan vanjski i negativan unutrašnji pritisak

Vjetar W_3

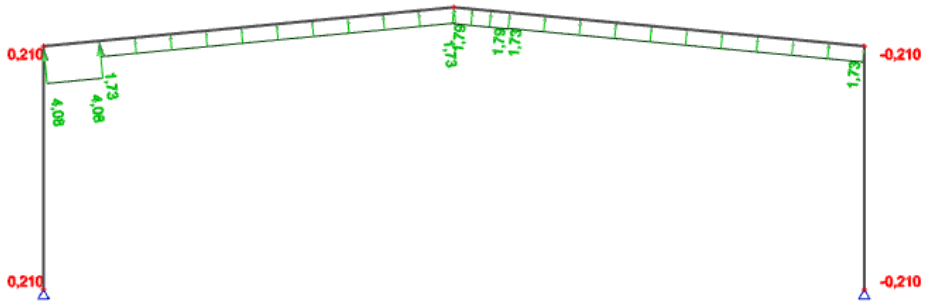
PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
w_{e+}	+0,0100	+0,0100	+0,0100	-0,5800	-0,5800	+0,7100	-0,3100
w_{i+}	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840	+0,0840
$w_k(kN/m^2)$	+0,0740	+0,0740	+0,0740	-0,6640	-0,6640	+0,6260	-0,3940
$W_k(kN/m')$	+0,3848	+0,3848	+0,3848	-3,4528	-3,4528	+1,2520	-0,7880
$W_k(kN)$	+0,8542	+0,8542	+0,8542	-7,6647	-7,6647	+7,2261	-4,5480

Tablica 2.1.2.2.1.4. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan vanjski i pozitivan unutrašnji pritisak

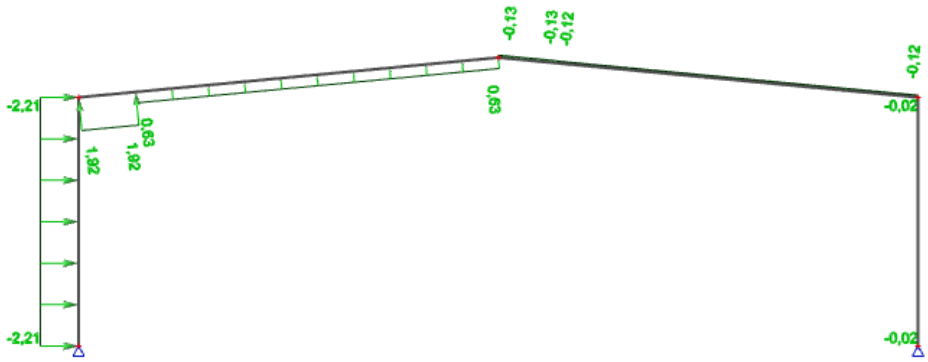
Vjetar W_4

PODRUČJE	F	G	H	J	I	D	E
w_{e+}	+0,0100	+0,0100	+0,0100	-0,5800	-0,5800	+0,7100	-0,3100
w_{i-}	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260	-0,1260
$w_k(kN/m^2)$	+0,1360	+0,1360	+0,1360	-0,4540	-0,4540	+0,8360	-0,1840
$W_k(kN/m')$	**+0,7072**	**+0,7072**	**+0,7072**	**-2,3608**	**-2,3608**	**+1,6720**	**-0,3680**
$W_k(kN)$	+1,5699	+1,5699	+1,5699	-5,2406	-5,2406	+9,6504	-2,1239

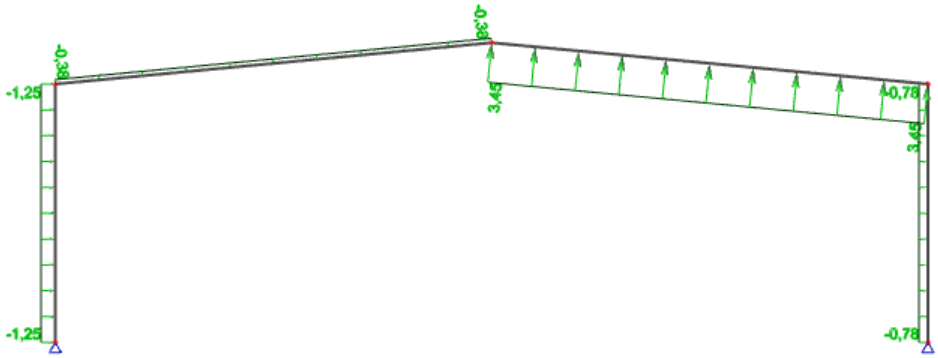
Tablica 2.1.2.2.1.5. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan vanjski i negativan unutrašnji pritisak



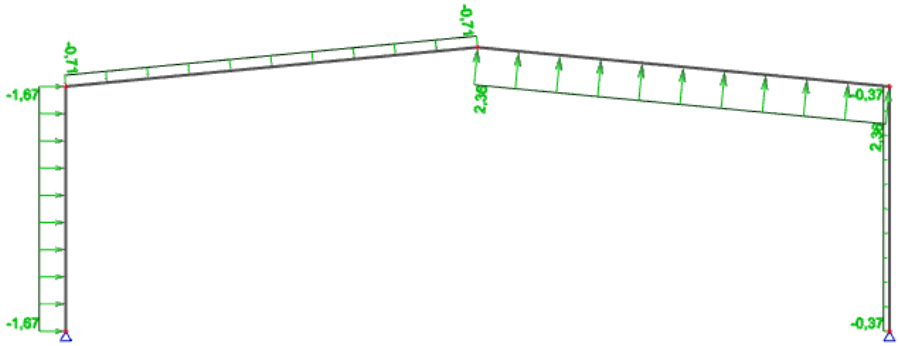
Slika 2.1.2.2.1. Prikaz opterećenja vjetrom w1



Slika 2.1.2.2.2. Prikaz opterećenja vjetrom w2



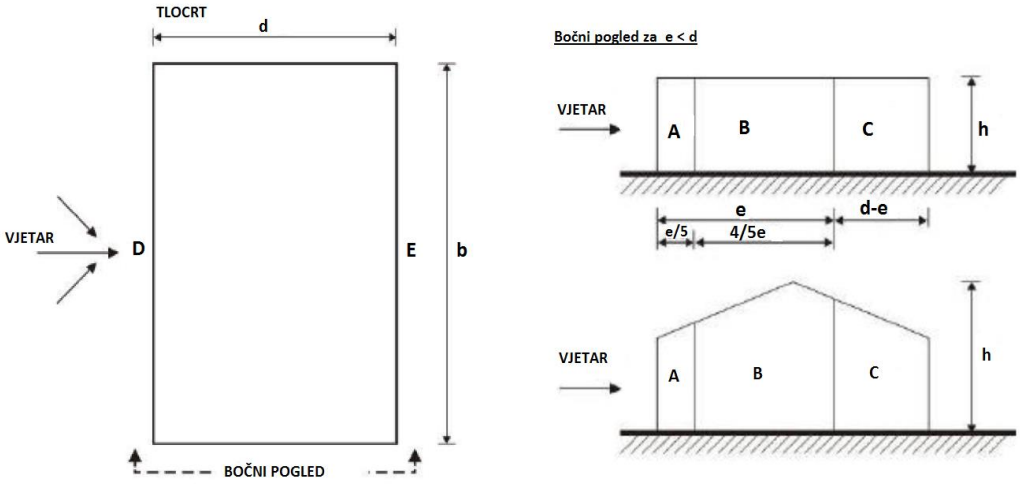
Slika 2.1.2.2.3. Prikaz opterećenja vjetrom w3



Slika 2.1.2.2.4. Prikaz opterećenja vjetrom w4

Mjerodavni vjetar koji odiže konstrukciju je vjetar **W1**, a mjerodavni vjetar koji pritišće konstrukciju vjetar **W4**.

2.1.2.2.2. Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove



Slika 2.1.2.2.2.1. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Pritisak vjetra na vanjske površine

$w_e = q_p \cdot c_{pe}$ [kN/m^2] ,

q_p = 0,42 kN/m^2

PODRUČJE	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
$\mathbf{c_{pe,10}}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,71	-0,31
$\mathbf{w_e}$ **(kN/m^2)**	-0,504	-0,336	-0,210	0,298	-0,130

Tablica 2.1.2.2.2.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima vjetra

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e$ ''+'' w_i (kN/m^2)

W_k (kN/m') = $w_k \cdot n = w_k \cdot 5{,}2$ m

Vjetar W1

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m^2)	-0,504	-0,336	-0,210	0,298	-0,130
w_i (kN/m^2)	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
w_k (kN/m^2)	-0,588	-0,420	-0,294	0,214	-0,214
W_k (kN/m')	-3,058	-2,184	-1,529	1,113	-1,113

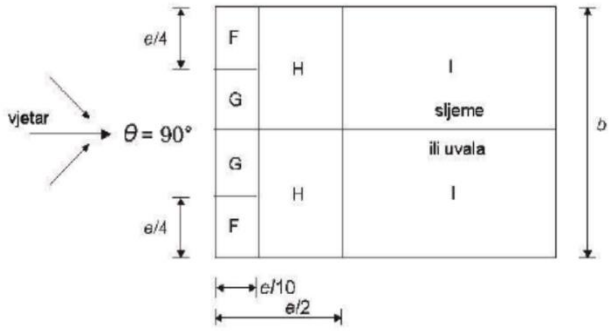
Tablica 2.1.2.2.2.2. Proračun sila prema područjima vjetra za pozitivan unutarnji pritisak

Vjetar W2

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m^2)	-0,504	-0,336	-0,210	0,298	-0,130
w_i (kN/m^2)	-0,126	-0,126	-0,126	-0,126	-0,126
w_k (kN/m^2)	-0,378	-0,210	-0,084	0,424	-0,004
W_k (kN/m')	-1,966	-1,093	-0,437	2,205	-0,021

Tablica 2.1.2.2.2.3. Proračun sila prema područjima vjetra za negativan unutarnji pritisak

2.1.2.2.3. Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova Θ=90



Slika 2.1.2.2.3.1. Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove Θ=90

Pritisak vjetra na vanjske površine

$w_e = q_p \cdot c_{pe}$ [kN/m^2]

q_p = 0,42 kN/m^2

PODRUČJE	**F**	**G**	**H**	**I**
$\mathbf{c_{pe,10}}$	-1,80	-1,30	-0,70	-0,60
$\mathbf{w_e}$ **(kN/m^2)**	-0,76	-0,55	-0,29	-0,24

Tablica 2.1.2.2.3.1. Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e$ ''+'' w_i (kN/m^2)

W_k (kN/m') = $w_k \cdot n = w_k \cdot 5{,}2$ m

VjetarW1

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-0,76	-0,55	-0,29	-0,24
w_{i+} (kN/m^2)	0,084	0,084	0,084	0,084
w_k (kN/m^2)	-0,844	-0,630	-0,378	-0,319
W_k (kN/m')	-4,389	-3,276	-1,966	-1,659

Tablica 2.1.2.2.3.2. Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-0,76	-0,55	-0,29	-0,24
w_{i-} (kN/m^2)	-0,126	-0,126	-0,126	-0,126
w_k (kN/m^2)	-0,634	-0,420	-0,168	-0,109
W_k (kN/m')	-3,297	-2,184	-0,874	-0,567

Tablica 2.1.2.2.3.3. Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

Djelovanje vjetra na sekundarne krovne nosače:

TRENJE PO KROVU:

- pritisak brzine vjetra pri udaru:

$\mathrm{q_p(z) = C_e(z) \cdot q_b = 0{,}42}$

- sila opterećenja trenjem po površini:

$Q = q_p(z) \cdot C_{pe} = 0{,}42 \cdot 0{,}1 = 0{,}042\ (kN/m^2)$

- sila trenja u čvoru:

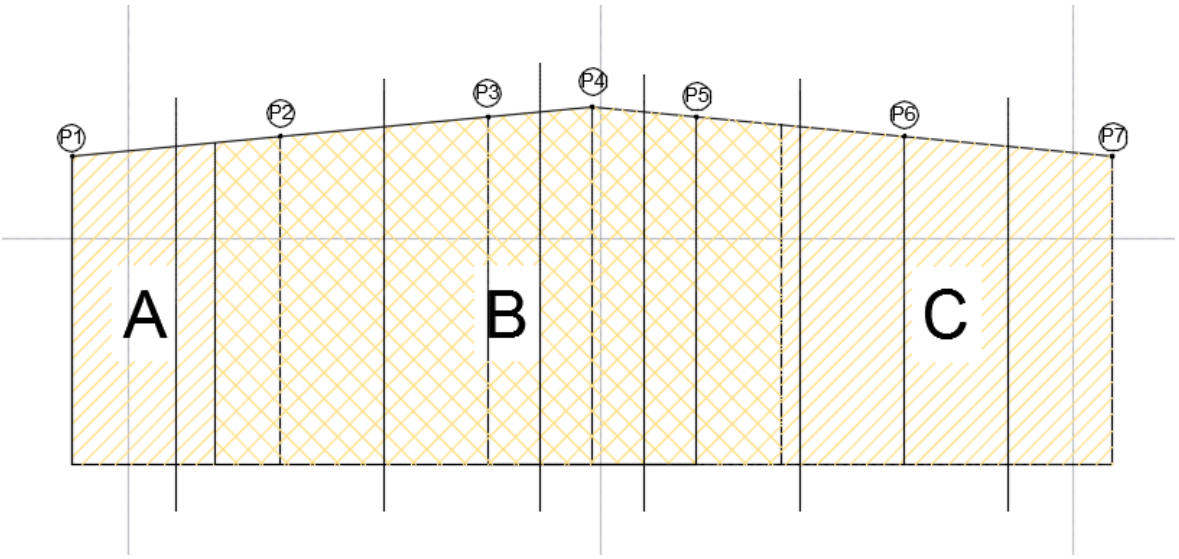
$S = Q \cdot A_{eff} = 0{,}042 \cdot 26 \cdot 2{,}21 = 2{,}413\ (kN)$

- Sile trenja po čvorovima :

$S_1 = S_7 = \frac{S}{2} = 1{,}207\ kN$

$S_2 = S_3 = S_4 = S_5 = S_6 = 2{,}413\ kN$

Sile vjetra na zabat



Slika 2.1.2.2.3.3. Prikaz područja djelovanja vjetra na zabat

- Površine zabata: $A = 19{,}93\ m^2$

$B = 86{,}70\ m^2$

$C = 47{,}82\ m^2$

- Sile opterećenja po površini :

$A: W_A = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) = 0{,}42 \cdot (1{,}2 + 0{,}2) = 0{,}588\ (kN/m^2)$

$B: W_B = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) = 0{,}42 \cdot (0{,}8 + 0{,}2) = 0{,}420\ (kN/m^2)$

$C: W_C = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) = 0{,}42 \cdot (0{,}5 + 0{,}2) = 0{,}294\ (kN/m^2)$

- Sile u čvorovima:

$Z_1 = 14{,}494 \cdot 0{,}588 = 8{,}52\ kN$

$Z_2 = 5{,}396 \cdot 0{,}588 + 25{,}033 \cdot 0{,}42 = 13{,}69\ kN$

$Z_3 = 24{,}024 \cdot 0{,}42 = 10{,}09\ kN$

$Z_4 = 16{,}359 \cdot 0{,}42 = 6{,}87\ kN$

$Z_5 = 21{,}166 \cdot 0{,}42 + 2{,}849 \cdot 0{,}29 = 9{,}72kN$

$Z_6 = 30{,}43 \cdot 0{,}29 = 8{,}82kN$

$Z_7 = 14{,}529 \cdot 0{,}29 = 4{,}21kN$

- Ukupne sile u čvorovima :

$P_1 = S_1 + Z_1 = 1{,}21 + 8{,}52 = 10{,}28\ kN$

$P_2 = S_2 + Z_2 = 2{,}41 + 13{,}69 = 16{,}10 kN$

$P_3 = S_3 + Z_3 = 2{,}41 + 10{,}09 = 12{,}50\ kN$

$P_4 = S_4 + Z_4 = 2{,}41 + 6{,}87 = 9{,}28 kN$

$P_5 = S_5 + Z_5 = 2{,}41 + 9{,}72 = 12{,}13\ kN$

$P_6 = S_6 + Z_6 = 2{,}41 + 8{,}82 = 11{,}23 kN$

$P_7 = S_7 + Z_7 = 1{,}21 + 4{,}21 = 5{,}42 kN$

2.2. Sekundarna nosiva konstrukcija

2.2.1. Stalno opterećenje

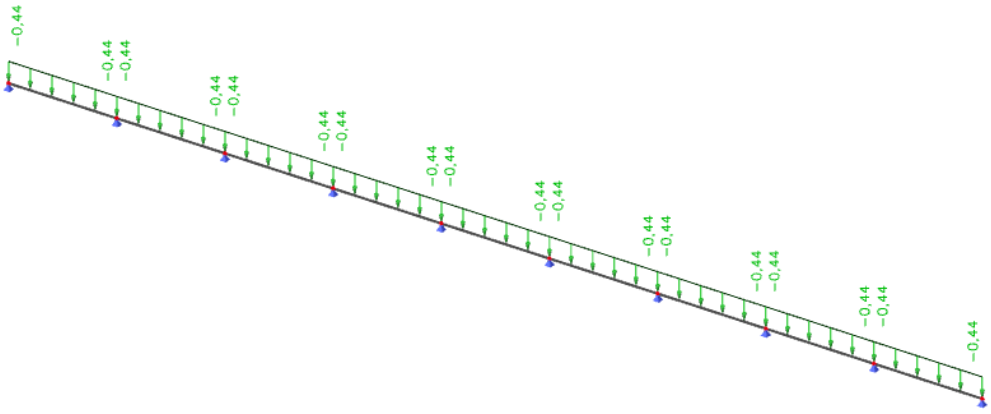
2.2.1.1. Opterećenje krovnih podrožnica sendvič panelima

- sendvič paneli (aluminij)	0,20	kN/m^2	
	∑ =	0,20	kN/m^2

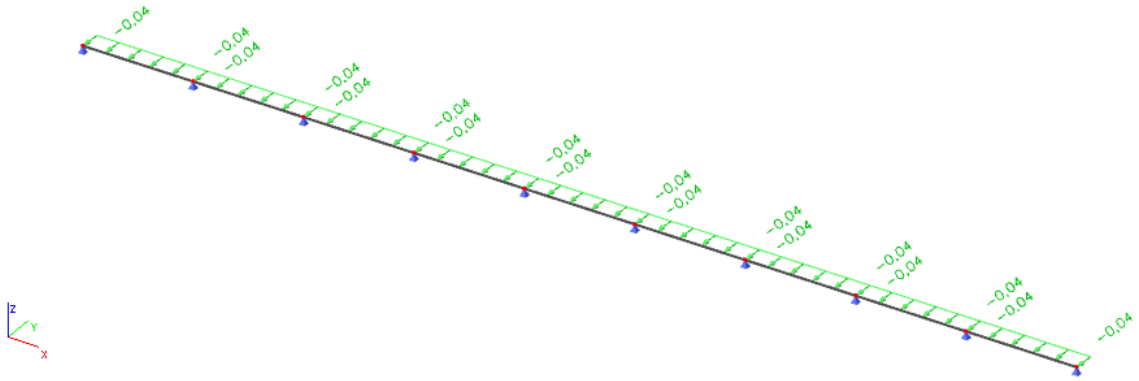
$G_z = g \cdot l \cdot cos\alpha = 0{,}20 \cdot 2{,}21 \cdot cos\ 5{,}4° = 0{,}44$ kN/m'

$G_y = g \cdot l \cdot sin\alpha = 0{,}20 \cdot 2{,}21 \cdot sin\ 5{,}4° = 0{,}042$ kN/m'

l→razmak sekundarnih krovnih nosača, *l* = 2,21 m



Slika 2.2.1.1.1. Opterećenje sendvič panelima u z smjeru (kN/m')



Slika 2.2.1.1.2. Opterećenje sendvič panelima u y smjeru (kN/m')

2.2.2. Pokretno opterećenje

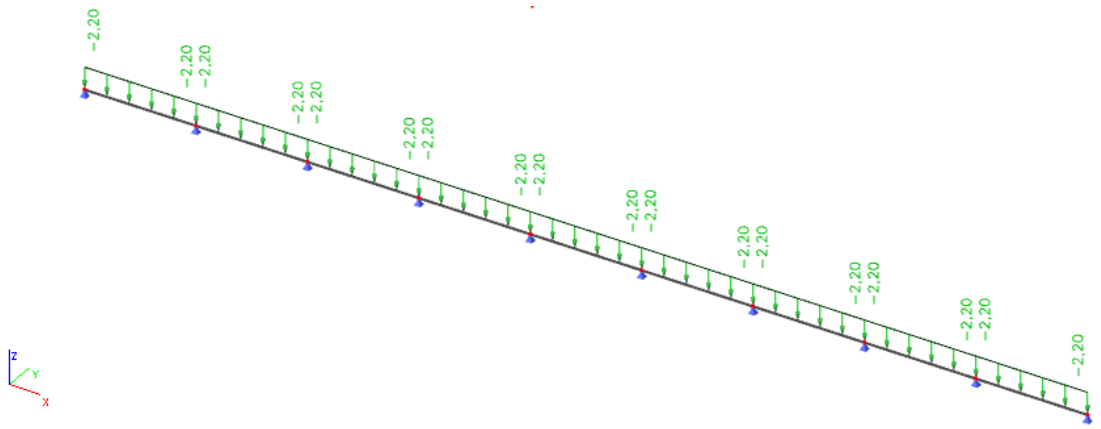
2.2.2.1. Djelovanje snijega na krovne podrožnice

s=1,0 kN/m^2 -preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

$S_z = s \cdot l \cdot cos\alpha = 1{,}0 \cdot 2{,}21 \cdot cos\ 5{,}4° = 2{,}20$ kN/m'

$S_y = s \cdot l \cdot sin\alpha = 10 \cdot 2{,}21 \cdot sin\ 5{,}4° = 0{,}21$ kN/m'

l→razmak sekundarnih krovnih nosača, l = 2,21m


-2,20
-2,20
-2,20

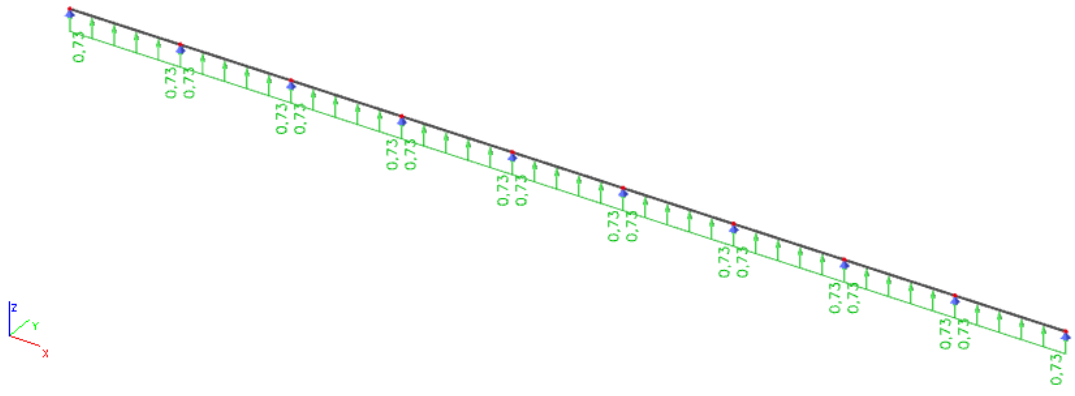
2.2.2.2. Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za krovne sekundarne nosače

- Podtlačno djelovanje vjetra

w_k = -0,33 kN/m^2, za područje H koje je mjerodavno

$W_z = w_k \cdot l$ = -0,33· 2,21 = -0,73 kN/m'

l→razmak sekundarnih nosača, l = 2,21 m


0,73
0,73
0,73

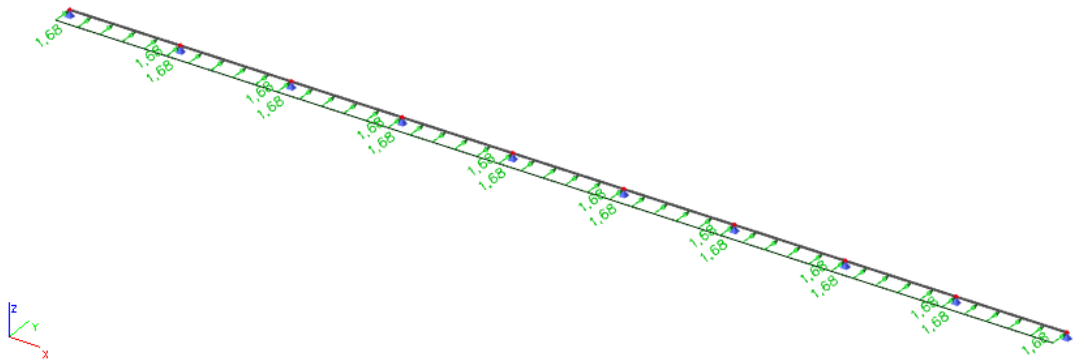
2.2.2.3. Određivanje mjerodavnih vjetrovnih sila za bočne sekundarne nosače

- Tlačno djelovanje vjetra

  w_k = 0,84 kN/m^2, za područje D koje je mjerodavno

  $W_z = w_k \cdot l = +0,84 \cdot 2,16 = +1,68$ kN/m'

  l→razmak bočnih sekundarnih nosača, l = 2,16 m



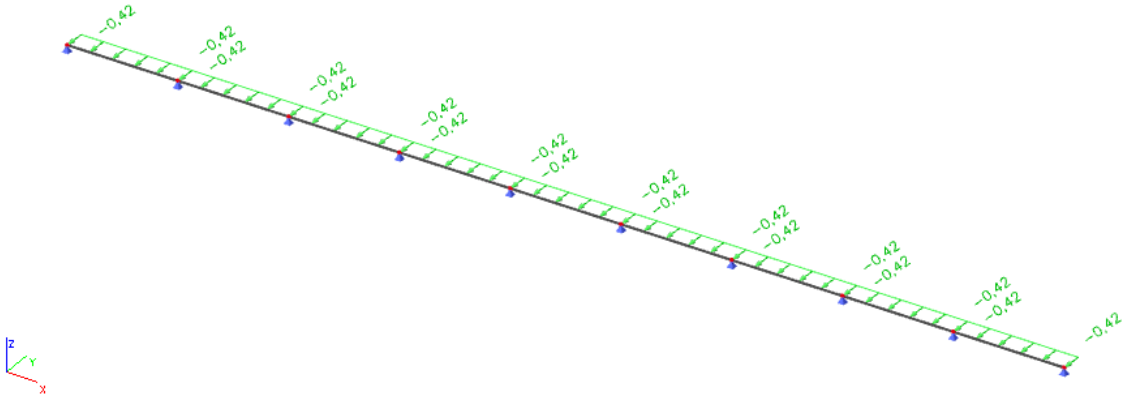
Slika 2.2.2.3.1. Opterećenje vjetrom u z smjeru (kN/m')

- Podtlačno djelovanje vjetra

  w_k = -0,21 kN/m^2, za područje E koje je mjerodavno

  $W_z = w_k \cdot l = -0,21 \cdot 2,16 = -0,42$ kN/m'

  l→razmak bočnih sekundarnih nosača, l = 2,16 m



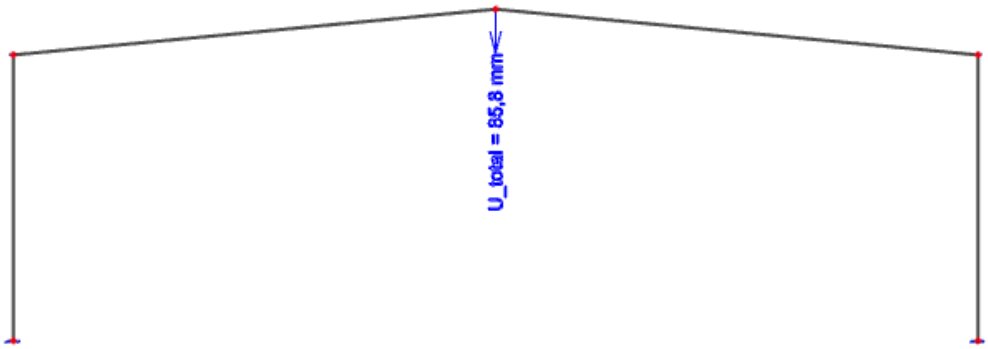
Slika 2.2.2.3.2. Opterećenje vjetrom u z smjeru (kN/m')

3. Kontrola progiba (GSU)

3.1. Greda

-odabrani profil HEA 400

- Najveći progib grede dobivamo za kombinaciju **1,0G+1,0S**



Slika 3.1.1. Vertikalni progib grede (mm)

Dopušteni progib: L/250= 22000*mm*/250= 88 *mm*

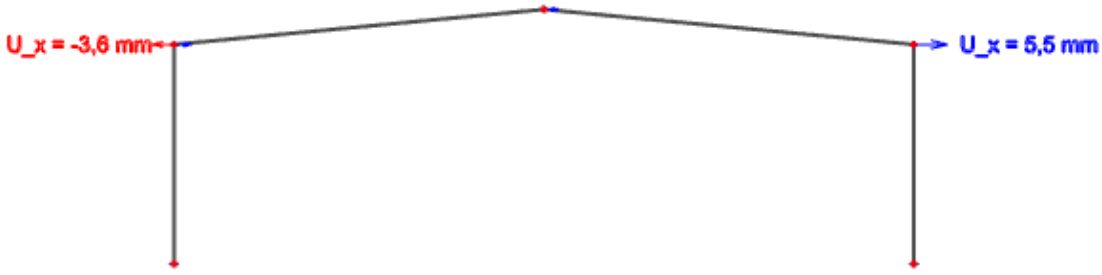
(85,80/88)*100= 97,50%

Najveći progib krovnih greda zadovoljava u odnosu na dopušteni sa **iskoristivosti 98 %.**

3.2. Stup

-odabrani profil HEA 500

- Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju **1,0G+1,0W**



Slika 3.2.1. Horizontalni progib stupa (mm)

Dopušteni progib: H/300= 6500*mm*/300= 21,67 *mm*

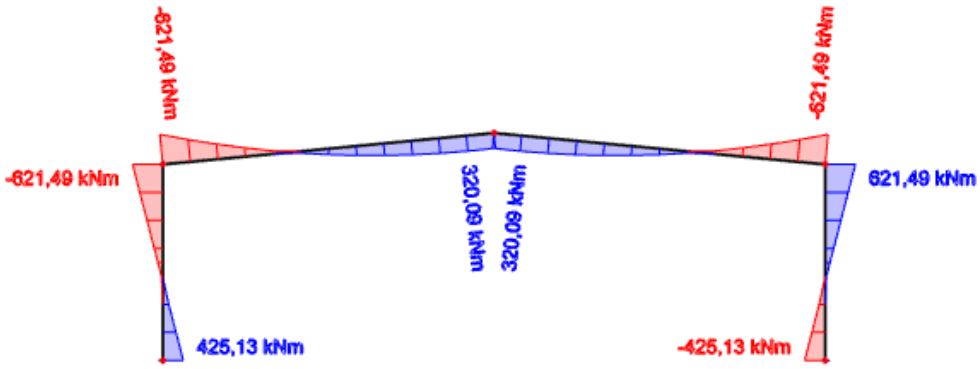
(5,5/21,67)*100= 25,38 %

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa **iskoristivosti 25%.**

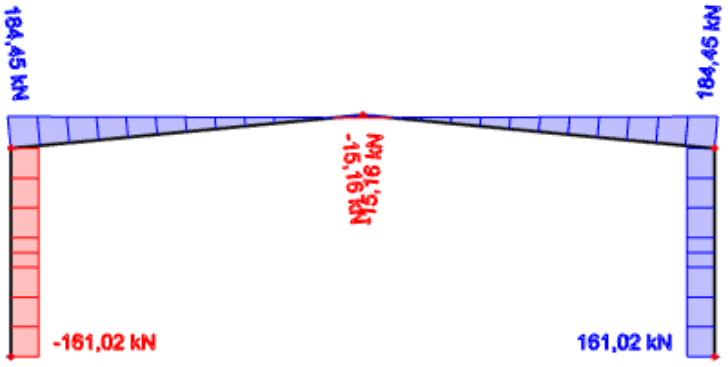
4. Dijagrami reznih sila za kombinacije djelovanja (GSN)

4.1. Glavna nosiva konstrukcija

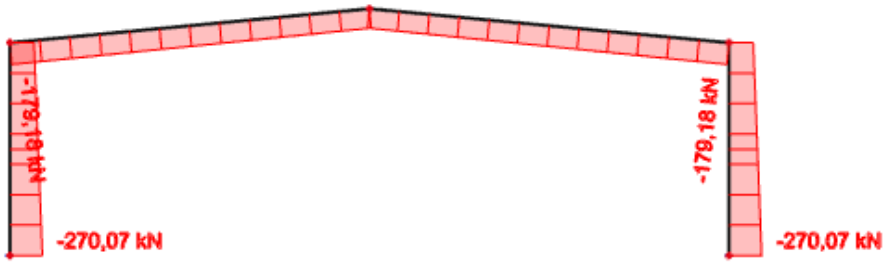
4.1.1. Kombinacija K1=1,35*G+1,50*S



Slika 4.1.1.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1(kNm)

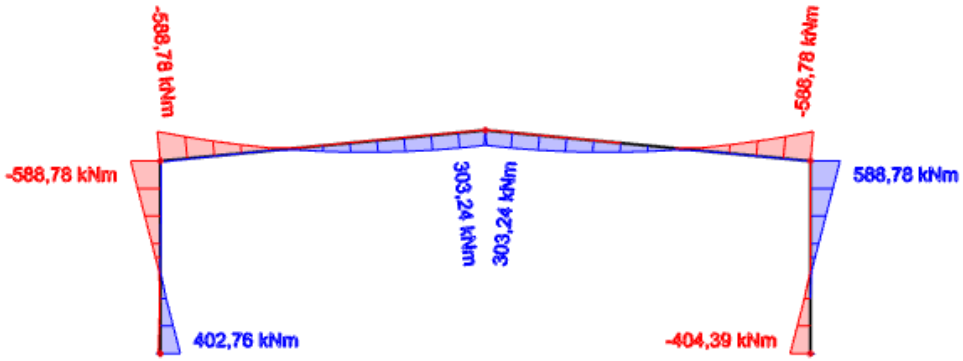


Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

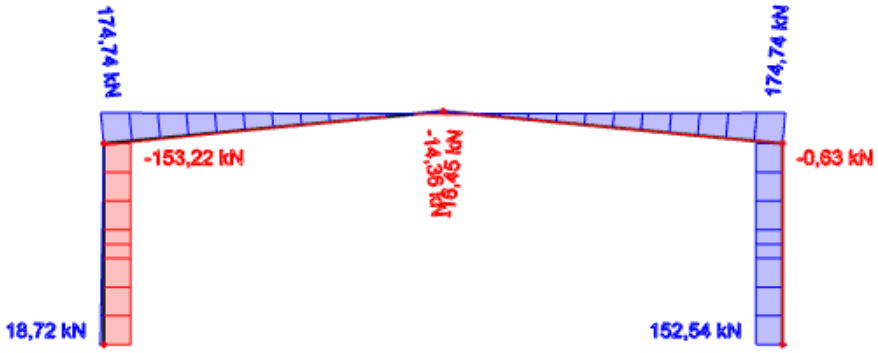


Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

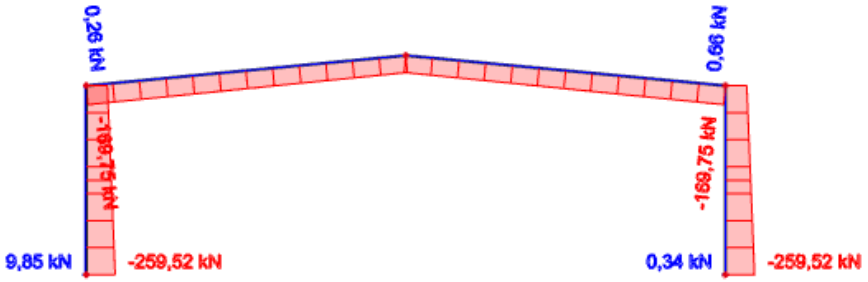
4.1.2. Kombinacija K2= 1,35*G+0,9*1,50*(S+W2)



Slika 4.1.2.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1(kNm)

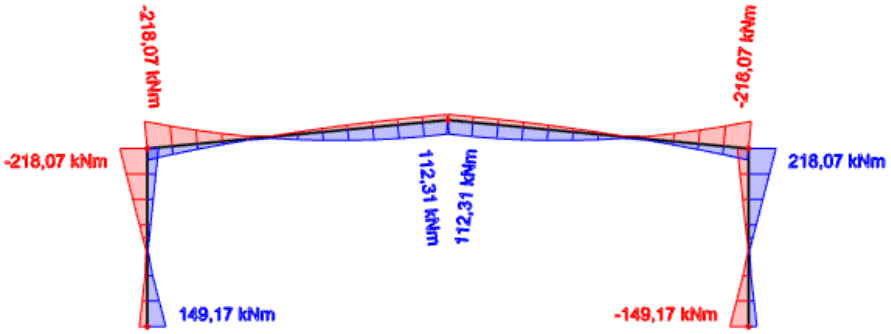


Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

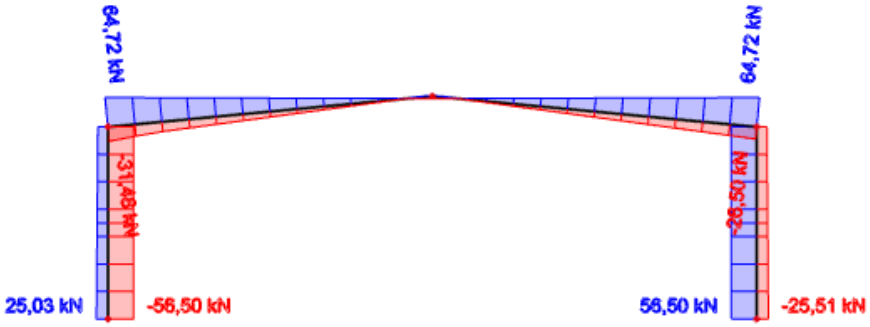


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

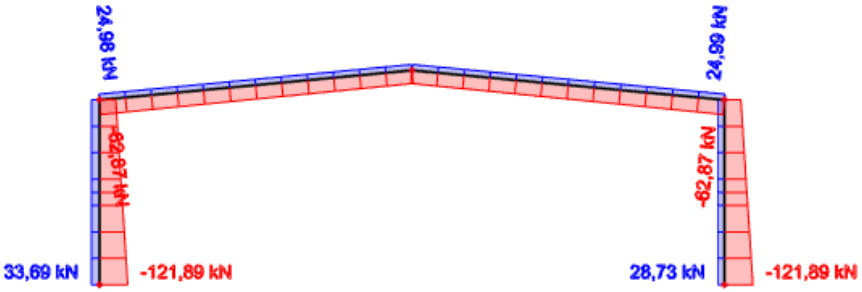
4.1.3. Kombinacija K3= 1,0*G+1,50*W1



Slika 4.1.3.1. Momentni dijagram opterećenja kombinacije 1(kNm)



Slika 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

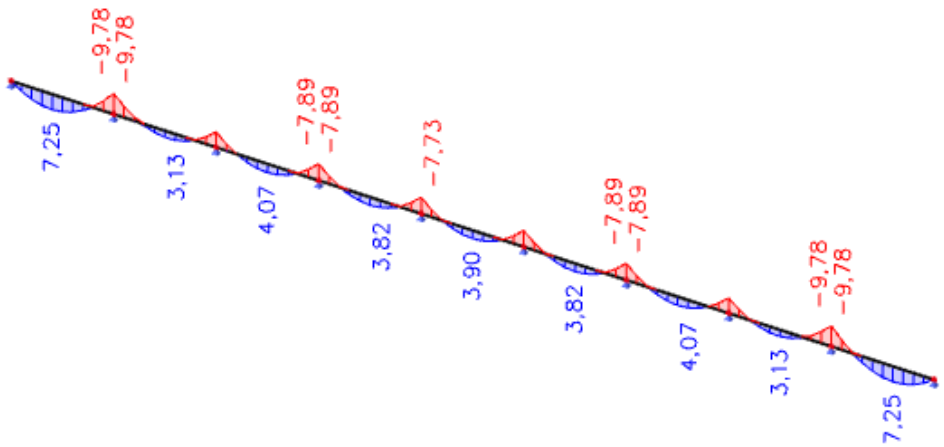


Slika 4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila opterećenja kombinacije 1(kN)

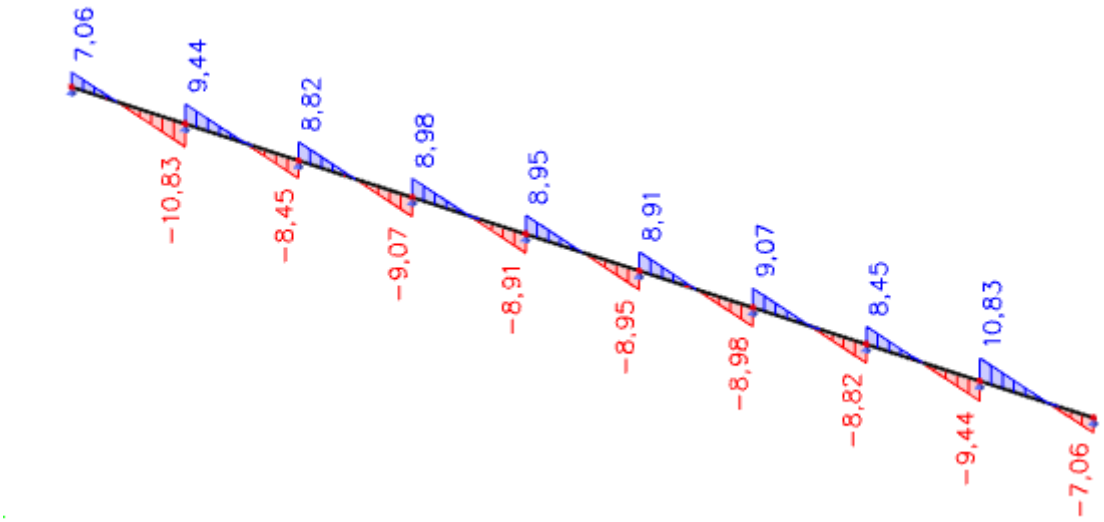
4.2. Sekundarna nosiva konstrukcija

4.2.1. Sekundarni krovni nosači (podrožnice)

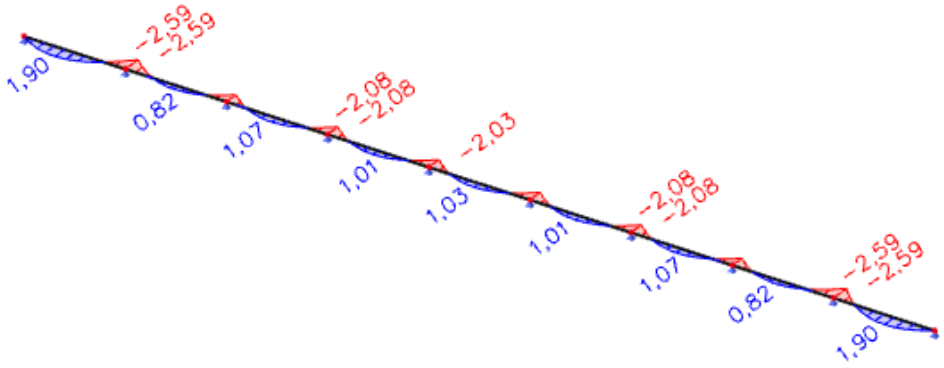
4.2.1.1. ***Kombinacija 1,35·V.T. + 1,35·G + 0,9·(1,5·S + 1,5·W2)***



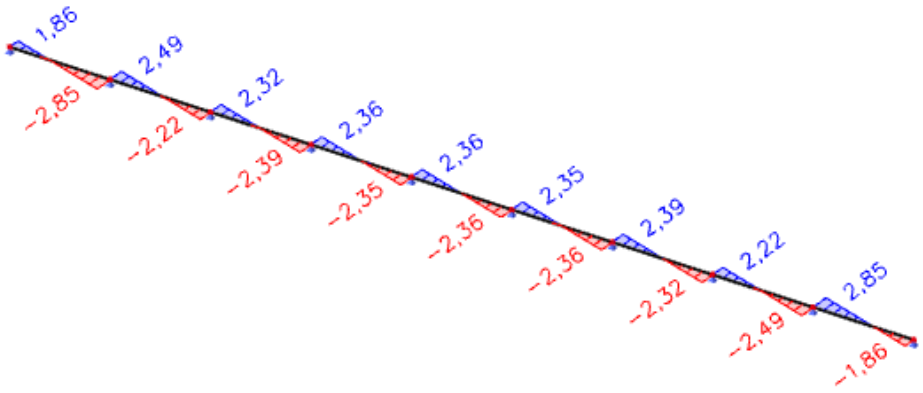
Slika 4.2.1.1.1. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 1(kNm)



Slika 4.2.1.1.2. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1(kN)

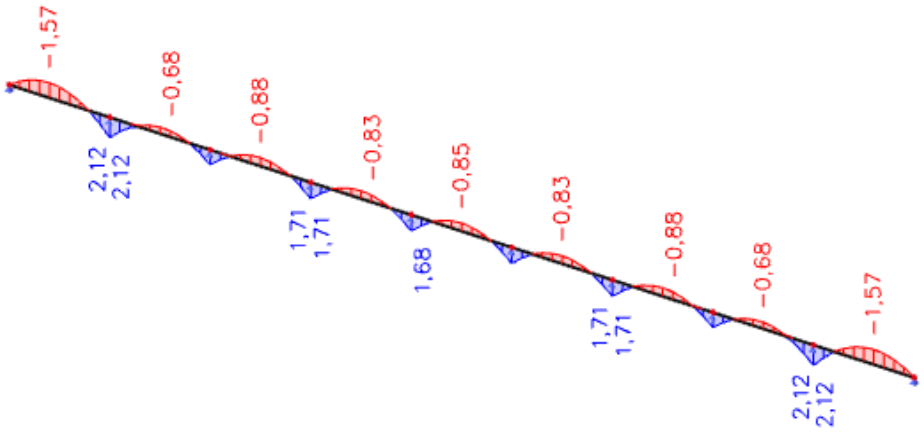


Slika 4.2.1.1.3. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1(kNm)

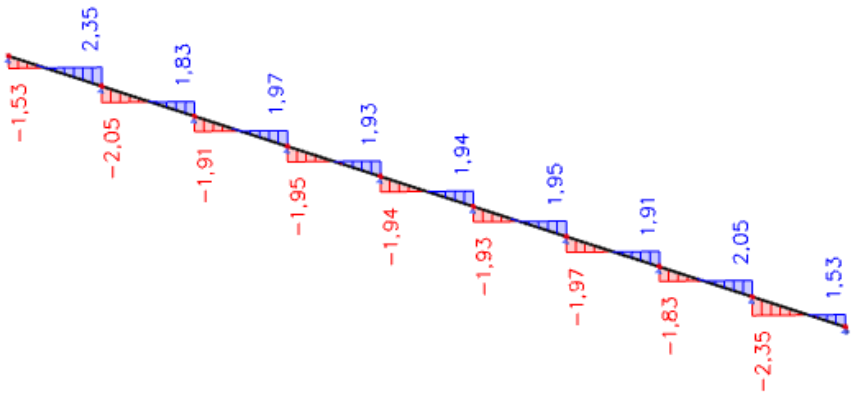


Slika 4.2.1.1.4. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1(kN)

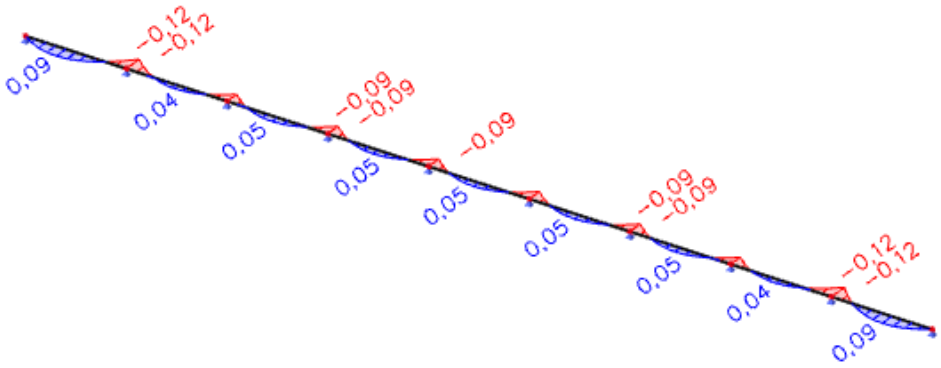
4.2.1.2. Kombinacija 1,0·V.T. + 1,0·G + 1,5·W1



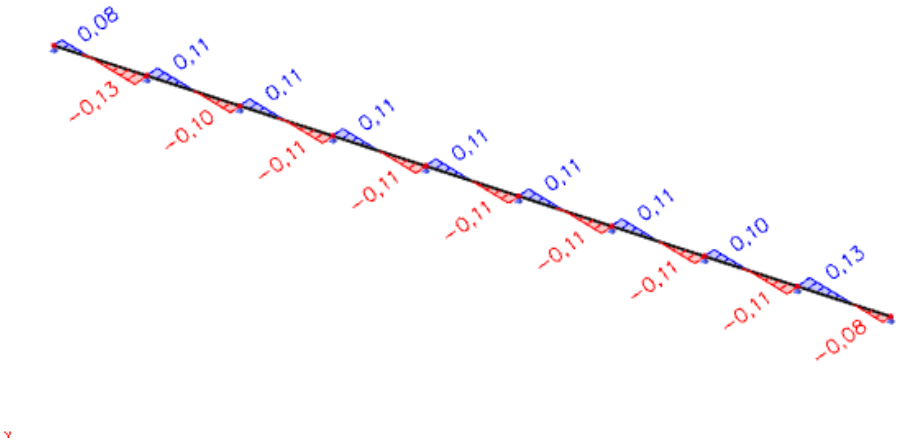
Slika 4.2.1.2.1. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2(kNm)



Slika 4.2.1.2.2. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2(kN)



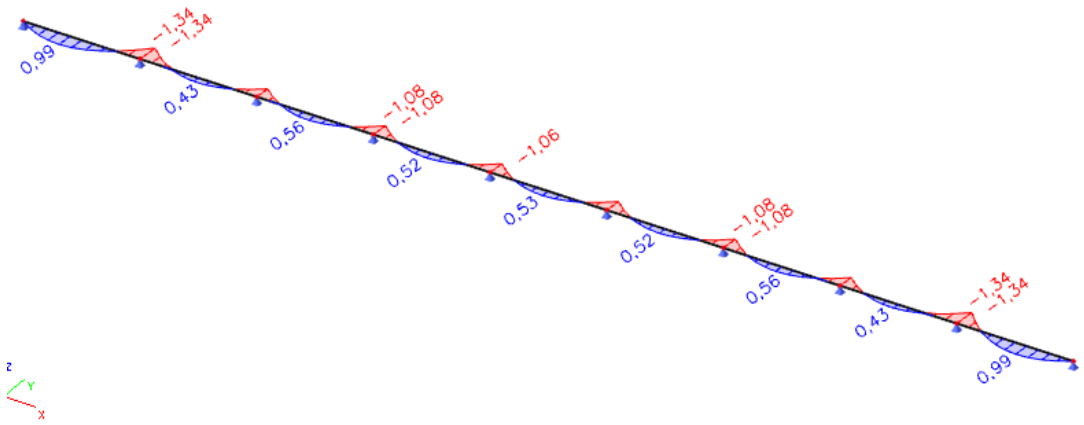
Slika 4.2.1.2.3. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2(kNm)



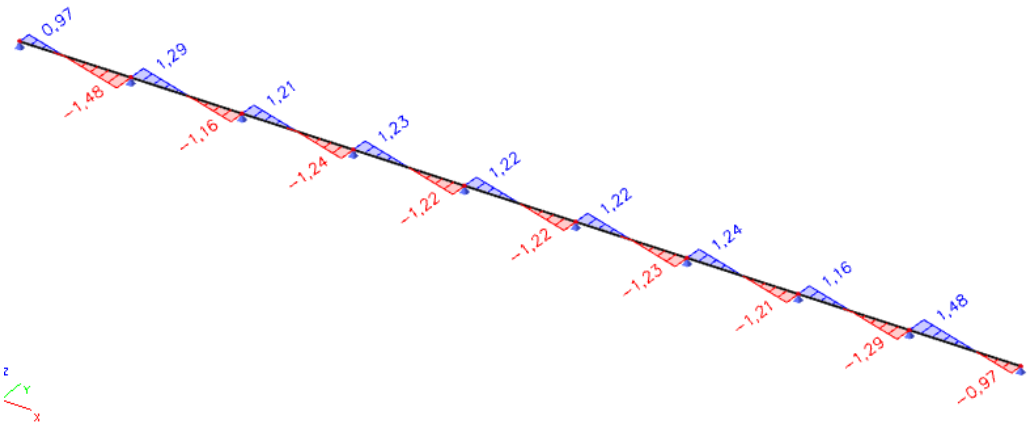
Slika 4.2.1.2.4. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2(kN)

4.2.2. Bočni nosači

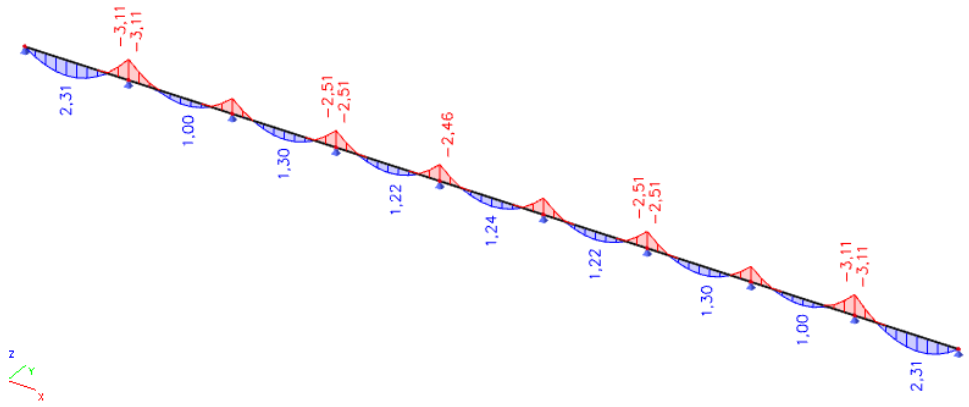
4.2.2.1. Kombinacija 1,35$G_{elementa}$+1,5$W_{bp,1}$



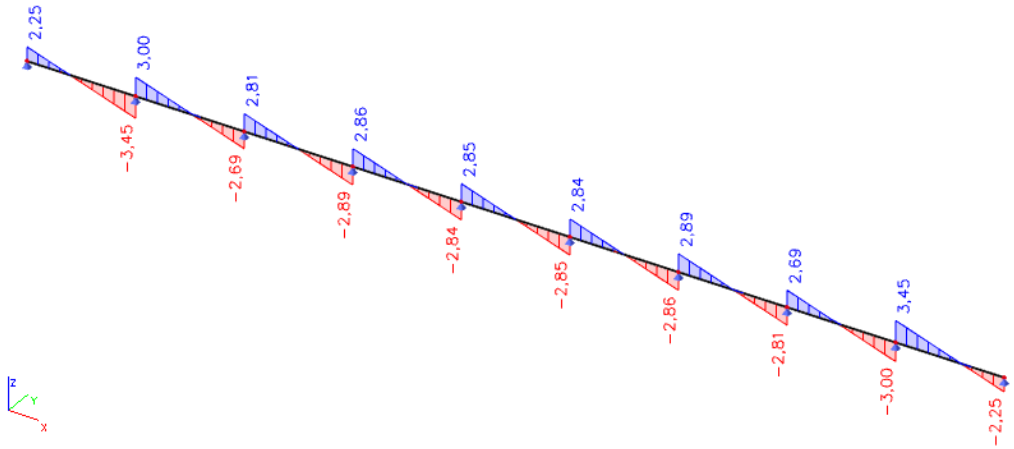
Slika 4.2.2.1.1. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 1(kNm)



Slika 4.2.2.1.2. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 1(kN)

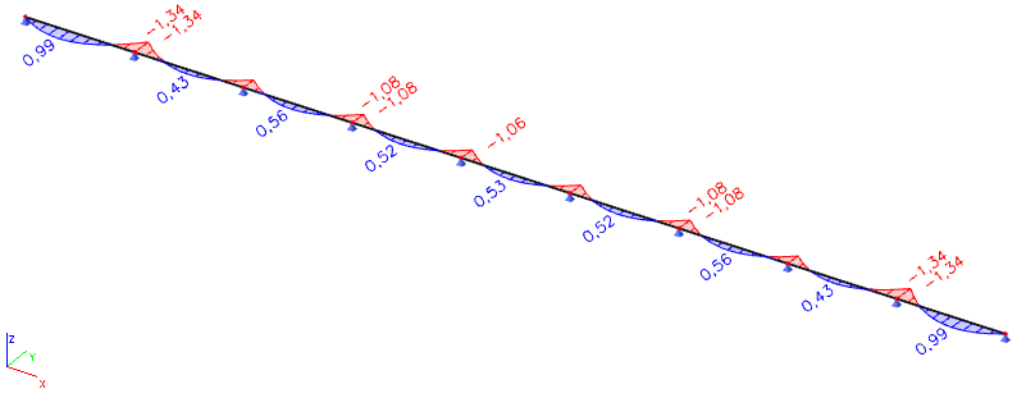


Slika 4.2.2.1.3. Momenti dijagram u y smjeru kombinacije 1(kNm)

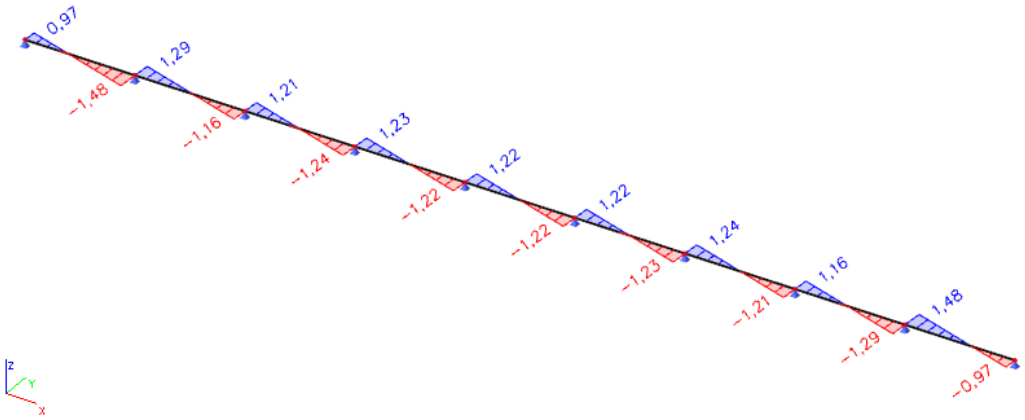


Slika 4.2.2.1.4. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 1

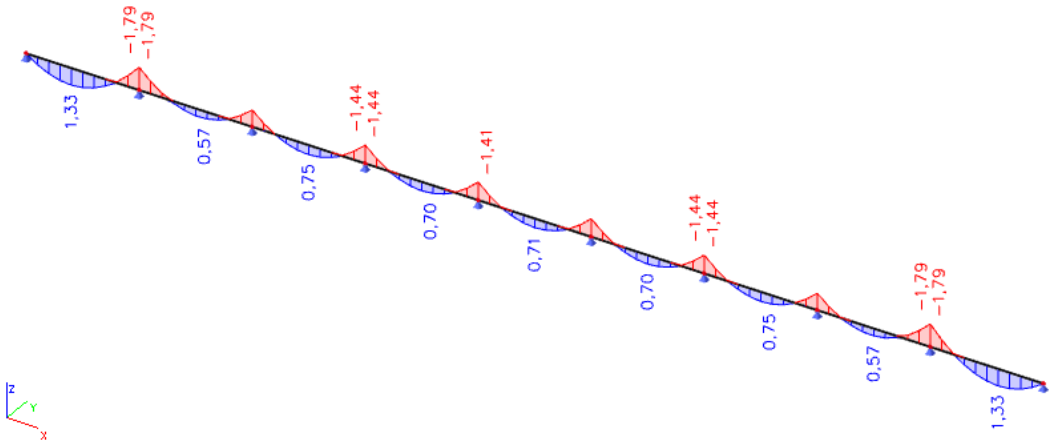
4.2.2.2. Kombinacija 1,35G$_{elementa}$+1,5W$_{bp,2}$



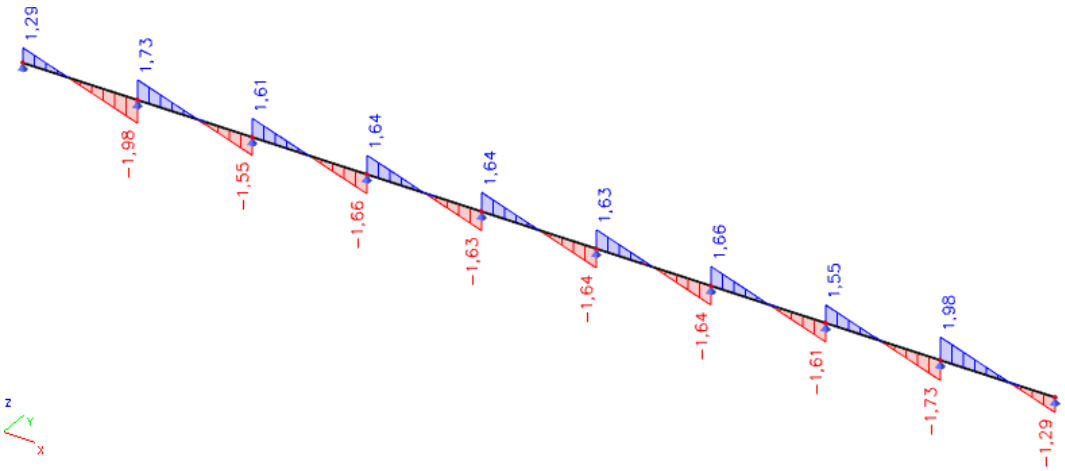
Slika 4.2.2.2.1. Momentni dijagram u z smjeru kombinacije 2(kNm)



Slika 4.2.2.2.2. Dijagram poprečnih sila u y smjeru kombinacije 2 (kN)



Slika 4.2.2.2.3. Momentni dijagram u y smjeru kombinacije 2 (kNm)

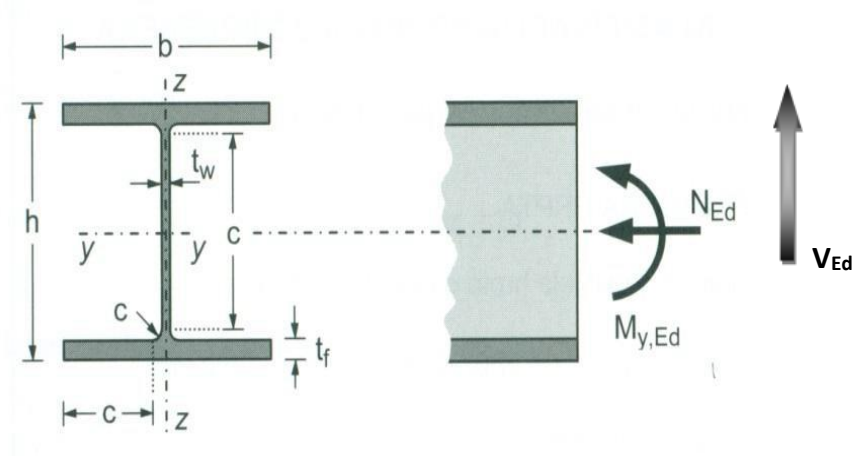


Slika 4.2.2.2.4. Dijagram poprečnih sila u z smjeru kombinacije 2(kN)

5.Dimenzioniranje glavne nosive konstrukcije

5.1. Glavna nosiva konstrukcija

5.1.1. GREDE



Slika 5.1.1. Poprečni presjek grede

Tip presjeka:	**valjani HEA 400**
Visina presjeka:	h = 390 mm
Širina pojasnice:	b = 300 mm
Debljina pojasnice:	t (t_f) = 19 mm
Debljina hrbata:	s (t_w) = 11mm
Radijus zakrivljenosti:	r = 27mm
Površina:	A=159 cm^2
Moment tromosti:	I_y=45 100 cm^4
	I_z=8 560 cm^4
Momenti otpora:	$W_{pl,y}$ = 2562,5 cm^3
	$W_{pl,z}$ = 870,83 cm^3
Konstanta krivljenja:	I_w = 2 942 100cm^6
Torzijska konstanta:	I_t = 189 cm^4

ULAZNI PODACI:

$M_{y,Ed}$ = 621,49 kNm, **V_{Ed} = 184,45 kN,** **N_{Ed}=179,18 kN (tlak)**

Materijal: S275 : f_y = 275 N/mm^2 ε = 0,92 E = 210 000 N/mm^2

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat :

d = h – 2t_f – 2r = 390 – 2*19 – 2*27 = 298 mm

t = 19 mm

$$\frac{d}{tw} = \frac{298}{11} = 27{,}09$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{179{,}18}{2 \cdot 1{,}1 \cdot 27{,}5 / 1{,}0} = 2{,}96$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{29{,}8}\left(\frac{29{,}8}{2} + 1{,}71\right) = 0{,}56 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_W} \le \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{d}{t_W} = 27{,}09 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1{,}0}{13 \cdot 0{,}56 - 1} = 63{,}06$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica

c = (b – t_w – 2r)/2 = (300 – 19 – 2*27)/2 = 113,5

t_f = 19 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{113{,}5}{19} = 5{,}97$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \le 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t} = 5{,}97 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 92 = 9{,}78$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za **klasu 1**.

Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ za presjek klase 1, 2, 3

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{159 \cdot 27,5}{1,0} = 4372,5\text{kN} > N_{Ed} = 179,18\,\text{kN}$

- Otpornost poprečnog presjeka izloženog momentu savijanja

$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2562,5 \cdot 27,5}{1,0} = 70468,75\text{kNcm} = 704,49\text{kNm} > \text{M}_{\text{Ed}} = 621,49 kNm$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2t_f}{t_w} = \frac{390-2\cdot19}{11} = \mathbf{32}$

$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \longrightarrow$ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

$A_{v,z} = 159 - 2 \cdot 30 \cdot 1,9 + (1,1 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,9 \geq 1,2 \cdot 39,0 \cdot 1,1$

$A_{v,z} = 56,35 \geq 51,48$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{1} = \frac{56,35 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}}}{1} = 894,68\ kN \geq 184,45\ kN = V_{Ed}$$

Interakcija M – V – N

$0,5\ V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 870,83 = 435,42$ kN

$V_{z,Ed} = 184,45$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 435,42$ kN $\longrightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

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

179,18 kN $\leq 0,25 \cdot 4372,5$kN $= 1093,13$kN

$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,5 \cdot 39,0 \cdot 1,1 \cdot 27,5}{1,0} = 589,88$ kN $\longrightarrow$ Nema redukcije otpornosti na izvijanje od uzduzne sile

Otpornost elementa na izvijanje

-oko osi y-y

$L_{cr,y}$ = 11,05 m

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45100}{1105^2} = 7655{,}46kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{159 \cdot 27{,}5}{7655{,}5}} = 0{,}76$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije α:

-za valjani presjek debljine pojasnice < 40 i savijanje oko y osi → krivulja izvijanja *a*

-za krivulju izvijanja *a*, faktor imperfekcije α=0,21

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

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

- oko osi z-z

$L_{cr,z}$ = 4,42 m

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 8560}{442^2} = 9081{,}31kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{159 \cdot 27{,}5}{9081{,}31}} = 0{,}69$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije α:

-za valjani profil→ krivulja izvijanja *b*

-za krivulju izvijanja *b*, faktor imperfekcije α=0,34

$\Phi_z = 0,5 \cdot [\, 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^{\,2}\,] = 0,5 \cdot [\, 1 + 0,34 \cdot (0,69-0,2) + 0,69^2\,] = 0,82$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \overline{\lambda_z}^{\,2}}} = \frac{1}{0,82 + \sqrt{0,82^2 - 0,69^2}} = 0,79$$

Mjerodavan je manji $\chi \longrightarrow$ χ=0,79

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{0,79 \cdot 159 \cdot 27,5}{1,0} = 3454,2kN \; > N_{Ed} = 179,18 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

-Otpornost elementa na savijanje (M)

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = 442cm

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{39}{2} = 19,5cm$

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

k = 0,5 C_1 = 2,150

k_w = 0,5 C_2 = 0

M_{cr} =2,15· $\frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 8560}{(0{,}5 \cdot 442)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{0{,}5}{0{,}5})^2 \cdot \frac{2942100}{8560} + \frac{(0{,}5 \cdot 442)^2 \cdot 8077 \cdot 189}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 8560} + (0 \cdot 19{,}5)^2}$ -

-0·19,5] = 1533865,25 kNcm = 15 339 kNm

Bezdimenzijska vitkost: $\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y}$ = 2562,5 cm^3

$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2562{,}5 \cdot 27{,}5}{1533865{,}25}} = 0{,}21 < \overline{\lambda}_{LT,0}$ = 0,4

Faktor redukcije = 1

$M_{b,Rd} = M_{c,Rd}$ = 15339 kNm

$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$

621,49 kNm < 15339 kNm

-Interakcija M-N

ULAZNI PODACI:

$M_{y,Ed}$ = 621,49 kNm, N_{Ed}=179,18 kN (tlak)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za $\overline{\lambda}_z = 0{,}69 \geq 0{,}4$:

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

$\alpha_h = M_h / M_s$ =621,49 / 442= 1,41

$\psi = M_{h2} / M_{h1}$ = 0 / 621,49 = 0

$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 1,41 = 1,02$

$C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 1,41 = 1,02$

k_{yy} = 1,02·[1+($0,76 - 0,2) \cdot \frac{179,18}{0,81 \cdot 4373 / 1,0}$] = 1,0487

k_{yy} = 1,048 < $1,02 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{179,18}{0,81 \cdot 4373 / 1,0}\right]$ = 1,061

k_{yy} = 1,048

k_{zy} = [1- $\frac{0,1 \cdot 0,69}{(1,02 - 0,25)} \cdot \frac{179,18}{0,79 \cdot 4373 / 1,0}$] = 0,995

k_{zy} = 0,995 >[1- $\frac{0,1}{(1,02 - 0,25)} \cdot \frac{179,18}{0,79 \cdot 4373 / 1,0}$] = 0,993

k_{zy} = 0,995

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{179,18}{0,81 \cdot 4373 / 1,0} + 1,048 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 704,49 / 1,0} = 0,975 \leq 1,0$$

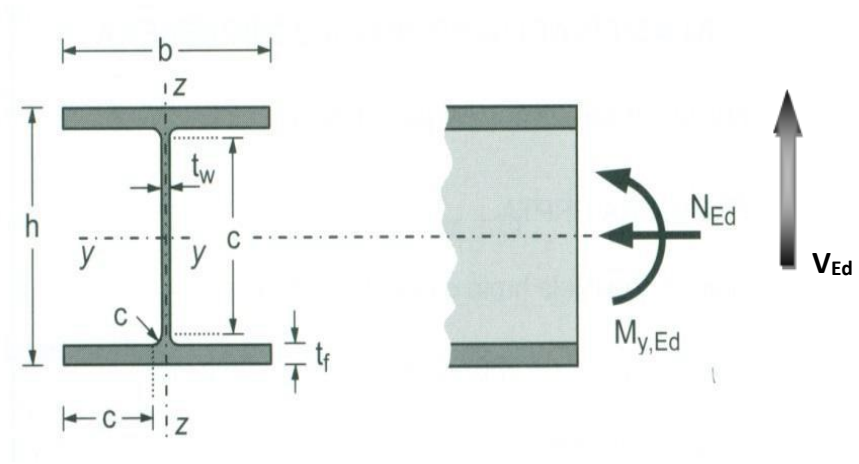
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{179,18}{0,79 \cdot 4373 / 1,0} + 0,995 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 704,49 / 1,0} = 0,929 \leq 1,0$$

Profil HEA400 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:

η = 93%

5.1. 2. STUPOVI



Slika 5.1.2.1 Poprečni presjek stupa

Tip presjeka:	**valjani HEA 500**
Visina presjeka:	h = 490 mm
Širina pojasnice:	b = 300 mm
Debljina pojasnice:	t (t_f) = 23 mm
Debljina hrbata:	s (t_w) = 12mm
Radijus zakrivljenosti:	r = 27mm
Površina:	A=198 cm^2
Moment tromosti:	I_y=67 000 cm^4
	I_z=1 040 cm^4
Momenti otpora:	$W_{pl,y}$ = 3950,0 cm^3
	$W_{pl,z}$ = 105,83 cm^3
Konstanta krivljenja:	I_w = 5 643 100cm^6
Torzijska konstanta:	I_t = 309 cm^4

ULAZNI PODACI:

$M_{y,Ed}$ = 621,49 kNm, V_{Ed} = 161,02 kN, N_{Ed}=270,07 kN (tlak)

Materijal: S275 → f_y = 275 N/mm^2 ε = 0,92 E = 210 000 N/mm^2

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

d = h – 2t_f – 2r = 490 – 2*23 – 2*27 = 390 mm

t_w = 12 mm

$$\frac{d}{tw} = \frac{390}{12} = 32{,}5$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{270{,}07}{2 \cdot 1{,}2 \cdot 27{,}5 / 1{,}0} = 4{,}09$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{39{,}0}\left(\frac{39{,}0}{2} + 4{,}09\right) = 0{,}605 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_W} \le \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{d}{t_W} = 32{,}5 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0{,}92}{13 \cdot 0{,}605 - 1} = 53{,}07$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica

c = (b – t_w – 2r)/2 = (300 – 12 – 2*27)/2 = 117

t_f = 23 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{117}{23} = 5{,}09$$

$$\frac{c}{t} \le 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t} = 5{,}09 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}92 = 8{,}28$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za **klasu 1**.

Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ za presjek klase 1, 2, 3

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{198 \cdot 27,5}{1,0} = 5445\text{kN} > N_{Ed} = 270,07\text{ kN}$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3950 \cdot 27,5}{1,0} = 108625\text{kNcm} = 1086,25\text{kNm} > \text{M}_{\text{Ed}} = 621,49kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2t_f}{t_w} = \frac{490-2\cdot23}{12} = 37$

$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \longrightarrow$ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

$A_{v,z} = 198 - 2 \cdot 30 \cdot 2,3 + (1,2 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,2 \geq 1,2 \cdot 49,0 \cdot 1,2$

$A_{v,z} = 67,92 \geq 67,42$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{1} = \frac{67,92 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}}}{1} = 1078,37kN \geq 161,02\ kN = V_{Ed}$$

Interakcija M – V – N

$0,5\ V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 1078,37 = 539,19$ kN

$V_{z,Ed} = 161,02$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 539,19$ kN $\longrightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

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

$270,07\text{ kN} \leq 0,25 \cdot 5445\text{kN} = 1361,25\text{ kN}$

$N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,5 \cdot 49,0 \cdot 1,2 \cdot 27,5}{1,0} = 808,5$ kN $\longrightarrow$Nema redukcije otpornosti na izvijanje od uzduzne sile.

Otpornost elementa na izvijanje

-oko osi y-y

$L_{Cr,y} = 2H = 2 \cdot 6,5 = 13m$

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 67000}{1300^2} = 8216,88kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{198 \cdot 27,5}{8216,88}} = 0,81$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije α:

-za valjani presjek debljine pojasnice <40 i savijanje oko y osi → krivulja izvijanja *a*

-za krivulju izvijanja *a*, faktor imperfekcije α=0,21

$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,81-0,2) + 0,81^2] = 0,89$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda^2}_y}} = \frac{1}{0,89 + \sqrt{0,89^2 - 0,81^2}} = 0,79$$

- oko osi z-z

$L_{Cr,z} = H/2 = \frac{6,5}{2} = 3,25$ m

Elastična kritična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040}{325^2} = 2040,73kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{198 \cdot 27,5}{2040,73}} = 1,63$$

Odabir krivulje izvijanja i faktora imperfekcije α:

-za valjani profil→ krivulja izvijanja *b*

-za krivulju izvijanja *b*, faktor imperfekcije α=0,34

$\Phi_z = 0,5 \cdot [\, 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{\,2}\,] = 0,5 \cdot [\, 1 + 0,34 \cdot (1,63-0,2) + 1,63^2\,] = 2,07$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \bar{\lambda}_z^{\,2}}} = \frac{1}{2,07 + \sqrt{2,07^2 - 1,63^2}} = 0,30$$

Mjerodavan je manji χ. $\longrightarrow$ χ= 0,30

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0,30 \cdot 198 \cdot 27,5}{1,0} = 1633,5kN \quad > N_{Ed} = 270,07 \text{ kN}$$

Otpornost elementa zadovoljava.

-Otpornost elementa na savijanje (M)

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = 350cm

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{49}{2} = 24,5cm$$

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

k = 0,5 C_1 = 2,150

k_w = 0,5 C_2 = 0

M_{cr} =2,15· $\frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040}{(0{,}5 \cdot 350)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{0{,}5}{0{,}5})^2 \cdot \frac{5643100}{1040} + \frac{(0{,}5 \cdot 350)^2 \cdot 8077 \cdot 309}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1040} + (0 \cdot 24{,}5)^2}$ -

-0·24,5] = 1150543,73 kNcm = 11505,44 kNm

Bezdimenzijska vitkost: $\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 3950\ cm^3$

$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{3950 \cdot 27{,}5}{1150543{,}73}} = 0{,}31 < \overline{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$

Faktor redukcije = 1

$M_{b,Rd} = M_{c,Rd}$ = 11505,44 kNm

$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$

621,49 kNm < 11505,44 kNm

-Interakcija M-N

ULAZNI PODACI:

$M_{y,Ed}$ = 621,49 kNm, N_{Ed}=270,07 kN (tlak)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za $\overline{\lambda}_z = 1{,}6 \geq 0{,}4$:

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

ψ = M_{h2} / M_{h1} = 0 / 621,49 = 0

C_{my} = 0,6 + 0,4 ψ = 0,6 > 0,4

C_{mLT} = 0,6 + 0,4 ψ = 0,6 > 0,4

k_{yy} = 0,6·[1+($0,81 - 0,2) \cdot \frac{270,07}{0,79 \cdot 5445 / 1,0}$] = 0,623

k_{yy} = 0,623 < $0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{270,07}{0,79 \cdot 5445 / 1,0}\right]$ = 0,630

k_{yy} = 0,623

k_{zy} = [1- $\frac{0,1 \cdot 1,6}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{270,07}{0,30 \cdot 5445 / 1,0}$] = 0,924

k_{zy} = 0,924>[1- $\frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{270,07}{0,30 \cdot 5445 / 1,0}$] = 0,919

k_{zy} = 0,924

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

$$\frac{270,07}{0,79 \cdot 5445 / 1,0} + 0,623 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 1086,25 / 1,0} = 0,42 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

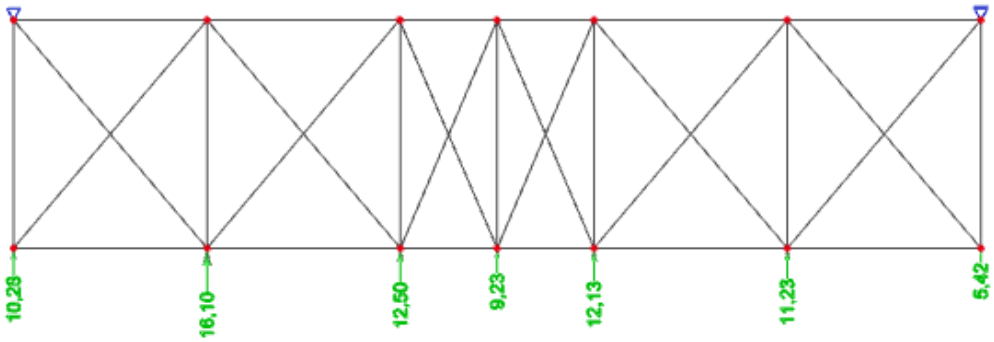
$$\frac{270,07}{0,30 \cdot 5445 / 1,0} + 0,924 \cdot \frac{621,49}{1 \cdot 1086,25 / 1,0} = 0,69 \leq 1,0$$

Profil HEA500 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:

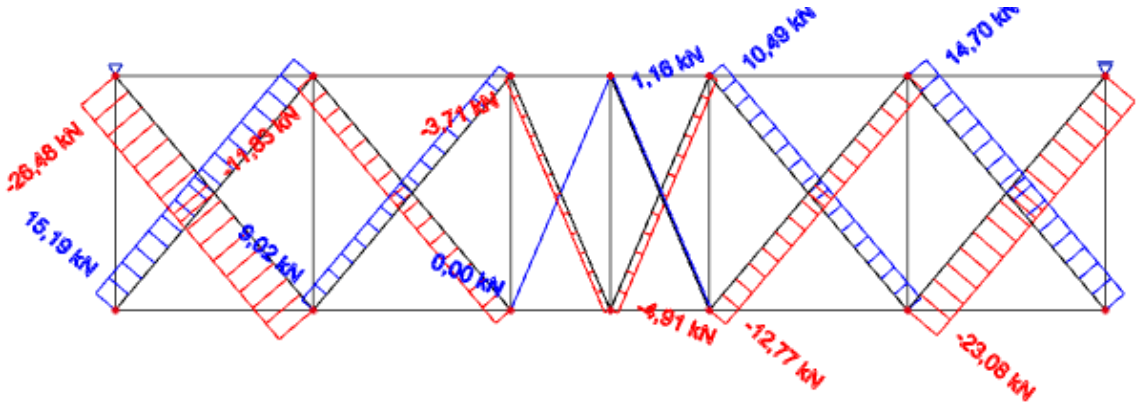
η = 69%

5.2. Sekundarna konstrukcija

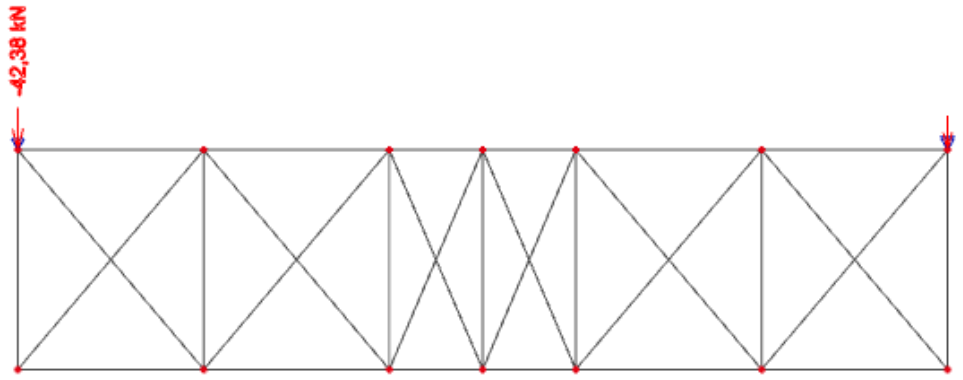
5.2.1. KROVNI SPREGOVI



Slika 5.2.1.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.1.2. Maksimalne uzdužne sile u krovnim spregovima



Slika 5.2.1.3. Reakcije nad osloncima

Maksimalna vlačna sila:

N_{Ed} = 15,19 kN

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \le \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \ge \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} \ge \frac{1{,}0 \cdot 15{,}19}{27{,}5} = 0{,}55 cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \Rightarrow d \ge \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \ge \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}55}{\pi}} = 0{,}84 cm$$

$d_{odabrano}$ = 16mm

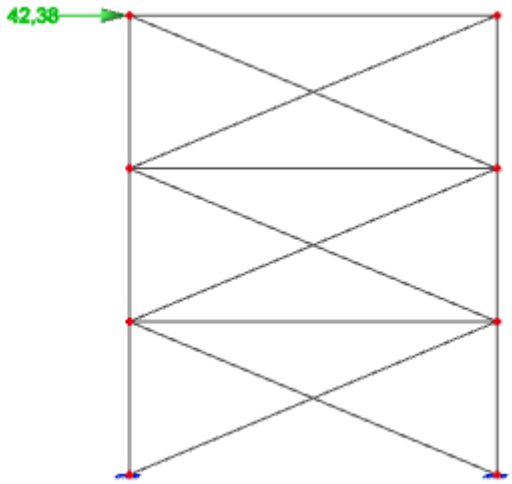
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1{,}6^2 \cdot \pi}{4} = 2{,}01 cm^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2{,}01 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 55{,}29 kN > N_{Ed} = 15{,}19 kN$$

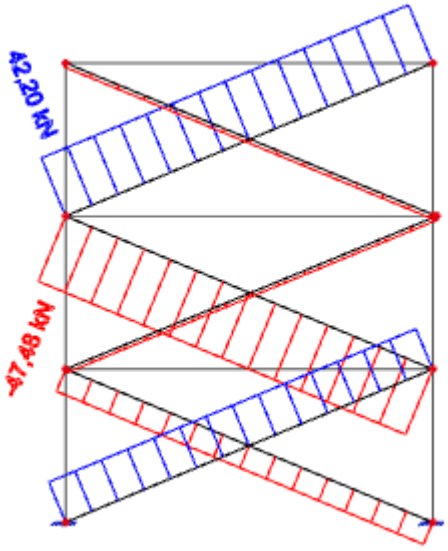
Za krovne spregove odabran je profil Ø16.

Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø16, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru, sa iskoristivosti: η = $\frac{15{,}19}{55{,}29} \cdot 100 = 28\%$ **.**

5.2.2. BOČNI SPREGOVI



Slika 5.2.2.1. Raspored bočnih spregova i opterećenje



Slika 5.2.2.2. Maksimalne uzdužne sile u bočnim spregovima

Maksimalna vlačna sila:

N_{Ed} = 42,20 kN

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \le \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow A \ge \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} \ge \frac{1{,}0 \cdot 42{,}20}{27{,}5} = 1{,}53 cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \Rightarrow d \ge \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \ge \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}53}{\pi}} = 1{,}40 cm$$

$d_{odabrano}$ = 16 mm

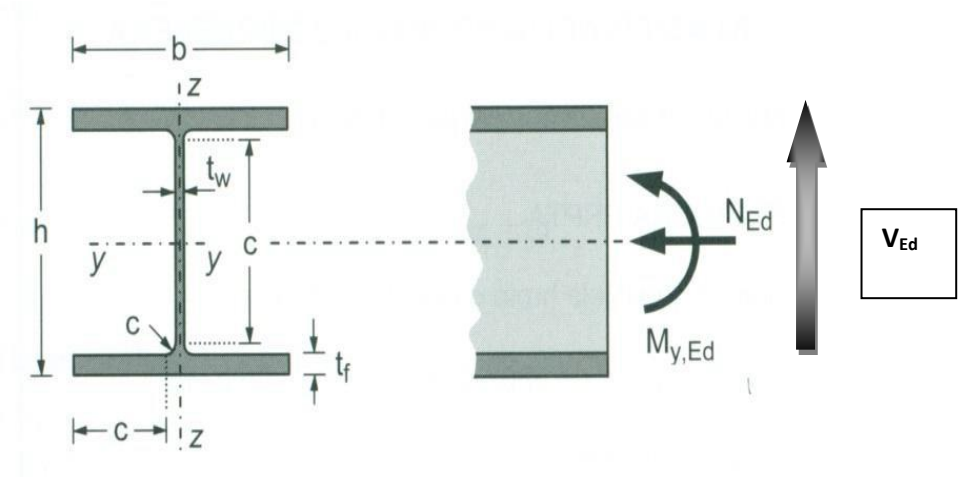
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1{,}6^2 \cdot \pi}{4} = 2{,}01 cm^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2{,}01 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 55{,}28 kN > N_{Ed} = 42{,}20 kN$$

Odabrani kružni puni poprečni presjek Ø16, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru, sa iskoristivosti: η = $\frac{42{,}20}{55{,}28} \cdot 100 = 76\%$**.**

5.2.3. Sekundarni krovni nosači -PODROŽNICE

•POPREČNI PRESJEK



Slika 5.2.3.1 Poprečni presjek krovnih nosača

Profil:	**IPE 270**
Tip presjeka:	valjani
Visina presjeka:	h = 270 mm
Širina pojasnice:	b = 135 mm
Debljina pojasnice:	t_f = 10 mm
Debljina hrpta:	t_w = 7 mm
Radijus:	r = 15 mm
Površina:	A = 45,9 cm^2
	Ay = 27,7 cm^2
	Az = 18,3 cm^2
Momenti tromosti:	I_y=5790 cm^4
	I_z=420 cm^4
Momenti otpora:	$W_{pl,y}$ = 484 cm^3
	$W_{pl,z}$ = 97 cm^3
Konstanta krivljenja:	I_w = 70600 cm^6
Torzijska konstanta:	I_t = 15,9 cm^4

ULAZNI PODATCI:

$M_{y,Ed}$ = 9,78 kNm

$V_{z,Ed}$ = 10,83 kN

$M_{z,Ed}$ = 2,59 kNm $V_{y,Ed}$ = 2,85 kN

N_{Ed} = -40,70 kN (tlak)

Materijal: S275: f_y = 275 N/mm^2 ε = 0,92 E = 210 000 N/mm^2 ν = 0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·t_f - 2·r = 270- 2·10 - 2·15 = 220 mm

t_w = 7 mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{220}{7} = 31{,}43$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{40{,}70}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 27{,}5/1{,}0} = 1{,}06 \text{ (cm)}$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{22}\left(\frac{22}{2} + 1{,}06\right) = 0{,}55 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_W} \le \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{d}{t_W} = 31{,}43 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0{,}92}{13 \cdot 0{,}55 - 1} = 59{,}24$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{135 - 7 - 2 \cdot 15}{2} = 49 \text{ mm}$$

t_f = 10 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{49}{10} = 4{,}9$$

$$\frac{c}{t_f} \le 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = 4{,}9 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}92 = 8{,}28$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za **klasu 1.**

Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45{,}9 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 1262{,}25kN$$

$$N_{c,Rd} = 1262{,}25kN > N_{Ed} = 40{,}70kN$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 13310kNcm = 133{,}10kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 133{,}10kNm > M_{y,Ed} = 9{,}78kNm$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 2667{,}5kNcm = 26{,}7kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 26{,}7kNm > M_{z,Ed} = 2{,}59kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 10}{6} = \frac{250}{6} = 41{,}67$$

41,67 < $72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2$ $\longrightarrow$ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z-z:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{18,3 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 290,55 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 290,55kN > V_{z,Ed} = 10,83kN$$

U smjeru osi y-y:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{27,7 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 439,79 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 439,79kN > V_{y,Ed} = 2,85kN$$

-Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje):

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

α = 2; β = 1

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile: $V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Savijanje u smjeru osi y-y:

$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 290,55 = 145,28$ kN

$V_{z,Ed} = 10,83$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 145,28$ kN $\rightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile(niska razina poprečne sile)

Ako su ispunjeni uvjeti (1) i (2) za uzdužnu silu, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

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

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

$N_{Ed} = 40,70$ kN $\leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 1262,25 = 315,56$ kN $\rightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile (niska razina uzdužne sile).

$N_{Ed} = 40,70$ kN $\leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 25 \cdot 0,7 \cdot 27,5}{1,0} = 240,63$ kN

$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 133,10$ kNm

Savijanje u smjeru osi z-z:

$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 439,79 = 246,90$ kN

$V_{y,Ed} = 2,85$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 246,90$ kN $\rightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 26,7$ kNm

$(\frac{9,78}{133,10})^2 + (\frac{2,59}{26,7})^1 = 0,10 \leq 1,0$

Profil IPE 270 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$ za presjeke klase 1, 2, 3

$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda^2}}} \leq 1{,}0$

$\Phi = 0{,}5 \cdot [\, 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda} - 0{,}2) + \overline{\lambda}^2 \,]$

$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$ za presjeke klase 1, 2, 3

$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2_{cr}}$

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$\frac{h}{b} = \frac{270}{135} = 2{,}00 > 1{,}2$ $t_f = 10 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$

-za os y-y: krivulja izvijanja *a* → α = 0,21

-za os z-z: krivulja izvijanja *b* → α = 0,34

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 520 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5790}{520^2} = 4438{,}04kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45{,}9 \cdot 27{,}5}{4438{,}04}} = 0{,}53$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z}$ = 520 cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420}{520^2} = 321{,}93kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45{,}9 \cdot 27{,}5}{321{,}93}} = 1{,}98$$

-Očitane vrijednosti:

$$\chi_y = 0{,}9006$$

$$\chi z = 0{,}2021$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi \longrightarrow \chi_{min} = 0{,}2021$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}2021 \cdot 45{,}9 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 255{,}10kN > N_{Ed} = 40{,}70kN$$

Otpornost elementa na savijanje

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = 520 cm

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{27}{2} = 13{,}5cm$$

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

k = 1,0 C_1 = 2,578

k_w = 1,0 C_2 = 1,554

$$M_{cr} = 2{,}578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420}{(1{,}0 \cdot 520)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{70600}{420} + \frac{(1{,}0 \cdot 520)^2 \cdot 8077 \cdot 15{,}9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420} + (1{,}554 \cdot 13{,}5)^2} -$$

$$-(1{,}554 \cdot 13{,}5)] = 13810{,}77 kNcm = 138{,}11 kNm$$

Bezdimenzijska vitkost: $\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 484\ cm^3$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{484 \cdot 27{,}5}{13810{,}77}} = 0{,}98 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}}^2}} < 1{,}0$$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \overline{\lambda}_{LT}^2\ ]$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja $\frac{h}{b}=\frac{270}{135}=2\le 2$

Mjerodavna krivulja izvijanja *a* → α_{LT} = 0,21

Φ_{LT} = 0,5 · [1 + 0,21·(0,98- 0,2) +0,98^2] = 1,06

$$\chi_{LT}=\frac{1}{1{,}06+\sqrt{1{,}06^2-0{,}98^2}}$$ = 0,68 < 1,0

$$M_{b,Rd}=\frac{\chi_{LT}\cdot W_y\cdot f_y}{\gamma_{M1}}=\frac{0{,}68\cdot 484\cdot 27{,}5}{1{,}0}$$ = 9050,8 kNcm = 90,51 kNm

$M_{b,Rd}$ = 90,51 kNm > $M_{y,Ed}$ = 9,78 kNm

-Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

k_{yz} = 0,6·k_{zz}

Za $\overline{\lambda}_z=1{,}98\ge 0{,}4$:

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

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

$\alpha_s = M_s / M_h = 14,05/(-18,97) = -0,74$

$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / (-18,97) = 0$

$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$

$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$

$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$

$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$

$$k_{yy} = 0,69 \cdot [1 + (0,53 - 0,2) \cdot \frac{40,70}{0,9006 \cdot 1262,25 / 1,0}] = 0,70$$

$$k_{yy} = 0,70 \leq 0,69 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{40,70}{0,9006 \cdot 1262,25 / 1,0}\right] = 0,71$$

$k_{yy} = 0,70$

$$k_{zz} = 0,69 \cdot [1 + (2 \cdot 1,98 - 0,6) \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0}] = 0,81$$

$$k_{zz} = 0,81 \leq 0,69 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0}\right] = 0,82$$

$k_{zz} = 0,81$

$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,81 = 0,49$

$$k_{zy} = [1 - \frac{0,1 \cdot 1,98}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0}] = 0,94$$

$$k_{zy} = 0,94 \geq [1 - \frac{0,1}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0}] = 0,92$$

$k_{zy} = 0,92$

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

$$\frac{40,70}{0,9006 \cdot 1262,25 / 1,0} + 0,70 \cdot \frac{9,78}{0,68 \cdot 133,10 / 1,0} + 0,49 \cdot \frac{2,59}{26,7 / 1,0} = 0,16 \leq 1$$

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

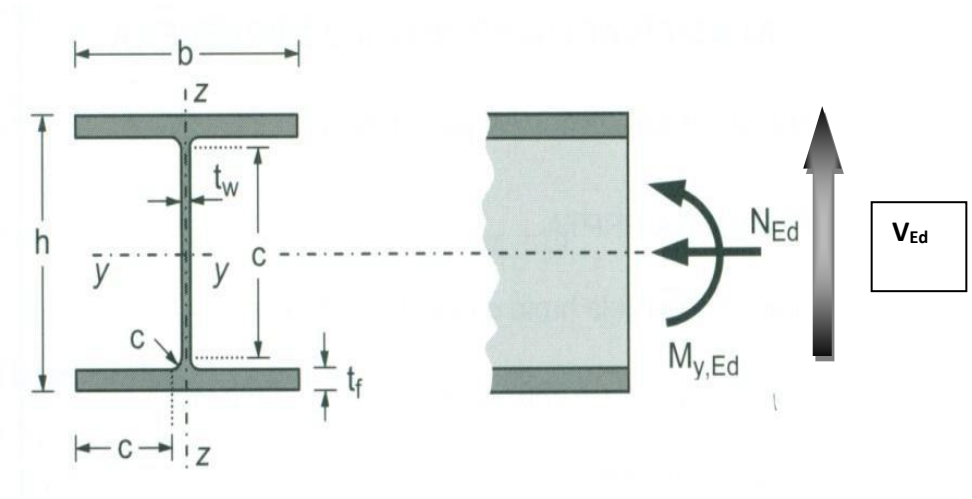
$$\frac{40,70}{0,2021 \cdot 1262,25 / 1,0} + 0,92 \cdot \frac{9,78}{0,68 \cdot 133,10 / 1,0} + 0,81 \cdot \frac{2,59}{26,7 / 1,0} = 0,45 \leq 1$$

Profil IPE 270 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:

η = 45%.

5.2.4. Sekundarni bočni nosači

•POPREČNI PRESJEK



Slika 5.2.4.1 Poprečni presjek bočnog nosača

Profil:	**IPE 180**
Tip presjeka:	valjani
Visina presjeka:	h = 180 mm
Širina pojasnice:	b = 91 mm
Debljina pojasnice:	t_f = 8 mm
Debljina hrpta:	t_w = 5 mm
Radijus:	r = 9 mm
Površina:	A = 23,9 cm^2
	Ay = 14,86 cm^2
	Az = 9,66 cm^2
Momenti tromosti:	I_y=1317 cm^4
	I_z=101 cm^4
Momenti otpora:	$W_{pl,y}$ = 166 cm^3
	$W_{pl,z}$ = 34,6 cm^3
Konstanta krivljenja:	I_w = 7430 cm^6
Torzijska konstanta:	I_t = 4,79 cm^4

ULAZNI PODATCI:

$M_{y,Ed}$ = 3,11 kNm

$V_{z,Ed}$ = 3,45 kN

$M_{z,Ed}$ = 1,34 kNm

$V_{y,Ed}$ = 1,48 kN

N_{Ed} = -16,59 kN (tlak)

Materijal: S275 : f_y = 275 N/mm^2 ε = 0,92 E = 210 000 N/mm^2 ν = 0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·t_f - 2·r = 180- 2·8 - 2·9 = 146 mm

t_w = 5 mm

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5} = 29{,}2$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{16{,}59}{2 \cdot 0{,}5 \cdot 27{,}5 / 1{,}0} = 0{,}60 \text{ (cm)}$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{29{,}2}\left(\frac{29{,}2}{2} + 0{,}60\right) = 0{,}52 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_w} \le \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{d}{t_w} = 29{,}2 \le \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0{,}92}{13 \cdot 0{,}52 - 1} = 63{,}25$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{91 - 5 - 2 \cdot 9}{2} = 34 \text{ mm}$$

t_f = 8 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} = 4{,}25$$

$$\frac{c}{t_f} \le 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = 4{,}25 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}92 = 8{,}28$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za **klasu 1**.

Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23{,}9 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 657{,}25kN$$

$$N_{c,Rd} = 657{,}25kN > N_{Ed} = 16{,}59kN$$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 4565kNcm = 45{,}65kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 45{,}65kNm > M_{y,Ed} = 3{,}11kNm$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34{,}6 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 951{,}5kNcm = 9{,}51kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 9{,}51kNm > M_{z,Ed} = 1{,}34kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{180 - 2 \cdot 8}{5} = \frac{164}{5} = 32{,}8$$

$32,8 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \rightarrow$ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z-z:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{9,66 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 153,37 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 153,37kN > V_{z,Ed} = 3,45kN$$

U smjeru osi y-y:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{14,86 \cdot (27,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 235,93 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 235,93kN > V_{y,Ed} = 1,48kN$$

-Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje):

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

$\alpha = 2$; $\beta = 1$

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile: $V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

Savijanje u smjeru osi y-y:

$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 153,37 = 76,69$ kN

$V_{z,Ed} = 3,45$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 76,69$ kN $\longrightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile(niska razina poprečne sile).

Ako su ispunjeni uvjeti (1) i (2) za uzdužnu silu, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

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

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

$N_{Ed} = 16,59$ kN $\leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 657,25 = 164,31$ kN $\longrightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile (niska razina uzdužne sile).

$N_{Ed} = 16,59$kN $\leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 16,4 \cdot 0,5 \cdot 27,5}{1,0} = 112,75$ kN

$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 45,65$ kNm

Savijanje u smjeru osi z-z:

$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 235,93 = 117,97$ kN

$V_{y,Ed} = 1,48$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 117,97$ kN $\longrightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile(niska razina poprečne sile).

$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 9,51$ kNm

$$(\frac{3,11}{45,65})^2 + (\frac{1,34}{9,51})^1 = 0,15 \leq 1,0$$

-Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$ za presjeke klase 1, 2, 3

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda^2}}} \leq 1,0$$

$\Phi = 0,5 \cdot [\, 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda} - 0,2) + \overline{\lambda}^2 \,]$

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$ za presjeke klase 1, 2, 3

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2_{cr}}$$

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

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1{,}98 > 1{,}2$ $t_f = 8\ mm \leq 40\ mm$

-za os y-y: krivulja izvijanja *a* → α = 0,21

-za os z-z: krivulja izvijanja *b* → α = 0,34

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y} = 520\ cm$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1317}{520^2} = 1009{,}48kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{23{,}9 \cdot 27{,}5}{1009{,}48}} = 0{,}8$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z} = 520\ cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{520^2} = 77{,}42kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{23{,}9 \cdot 27{,}5}{77{,}42}} = 2{,}91$$

-Očitane vrijednosti:

$$\chi_y = 0{,}7699$$

$$\chi_z = 0{,}1046$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}1046$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}1046 \cdot 23{,}9 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 68{,}75kN > N_{Ed} = 16{,}59kN$$

Otpornost elementa na savijanje

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = 520 cm

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{18}{2} = 9cm$

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

k = 1,0 C_1 = 2,578

k_w = 1,0 C_2 = 1,554

$M_{cr} = 2{,}578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{(1{,}0 \cdot 520)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(1{,}0 \cdot 520)^2 \cdot 8077 \cdot 4{,}79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101} + (1{,}554 \cdot 9)^2}$ -

-(1,554·9)] = 5483,67 kNcm = 54,84 kNm

Bezdimenzijska vitkost: $\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 166\ cm^3$

$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{166 \cdot 27{,}5}{5483{,}67}} = 0{,}91 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$

Faktor redukcije – opći slučaj:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^{\ 2} - \overline{\lambda_{LT}}^{\ 2}}} < 1{,}0$$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\ \overline{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \overline{\lambda}_{LT}^{\ 2}\ ]$

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja: $\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1{,}98 < 2$

Mjerodavna krivulja izvijanja *a* → $\alpha_{LT} = 0{,}21$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}91 - 0{,}2) + 0{,}91^2] = 0{,}99$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0{,}99 + \sqrt{0{,}99^2 - 0{,}91^2}} = 0{,}72 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}72 \cdot 166 \cdot 27{,}5}{1{,}0} = 3286{,}8\ \text{kNcm} = 32{,}87\ \text{kNm}$$

$M_{b,Rd} = 32{,}87\ \text{kNm} > M_{y,Ed} = 3{,}11\ \text{kNm}$

-Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje)

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

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

Za $\overline{\lambda}_z = 2{,}91 \ge 0{,}4$:

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

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

$\alpha_s = M_s / M_h = 4,93/(-6,65) = -0,74$

$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0 / (-6,65) = 0$

$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$

$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$

$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$

$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,69$

$k_{yy} = 0,69 \cdot [1+(0,8 - 0,2) \cdot \frac{16,59}{0,7699 \cdot 657,25 / 1,0}] = 0,70$

$k_{yy} = 0,70 \leq 0,69 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{16,59}{0,7699 \cdot 657,25 / 1,0}\right] = 0,71$

$k_{yy} = 0,70$

$k_{zz} = 0,69 \cdot [1+(2 \cdot 2,91 - 0,6) \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0}] = 1,60$

$k_{zz} = 1,60 \leq 0,69 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0}\right] = 0,92$

$k_{zz} = 0,92$

$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,92 = 0,552$

$k_{zy} = [1- \frac{0,1 \cdot 2,91}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0}] = 0,84$

$k_{zy} = 0,84 \geq [1- \frac{0,1}{(0,69 - 0,25)} \cdot \frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25 / 1,0}] = 0,95$

$k_{zy} = 0,95$

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

$$\frac{16,59}{0,7699 \cdot 657,25/1,0} + 0,70 \cdot \frac{3,11}{0,72 \cdot 45,65/1,0} + 0,552 \cdot \frac{1,34}{9,51/1,0} = 0,21 \leq 1$$

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

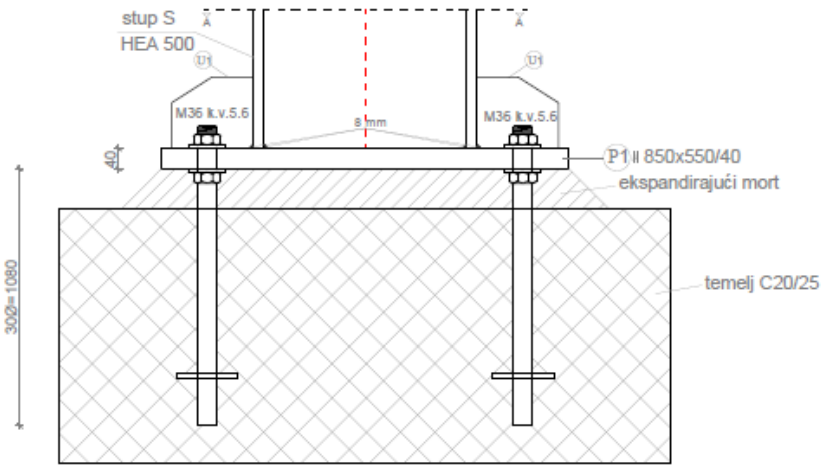
$$\frac{16,59}{0,1046 \cdot 657,25/1,0} + 0,95 \cdot \frac{3,11}{0,72 \cdot 45,65/1,0} + 0,92 \cdot \frac{1,34}{9,51/1,0} = 0,66 \leq 1$$

Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:

η = 66%.

6. Dimenzioniranje spojeva

6.1. Upeti spoj D1 stup – temelj



Slika 6.1.1. Detalj spoja stup-temelj ''D1''

ULAZNI PODACI:

N_{Ed} = 270,07 kN (tlak) M_{Ed} = 425,13 kNm V_{Ed} = 161,02 kN

Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6 M=36

Poprečni presjek:

Profil: HEA 500

h= 490 mm

b= 300 mm

t_w= 12 mm

t_f= 23 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{425,13}{(0.49 - 0.023)} = 910,34kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{2,3 \cdot 30}{198} \cdot 270,07 = -94,12kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 910,34 - 94,12 = 816,22kN(vlak)$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$L_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600mm$$

Dužina vara hrpta:

$$L_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (490 - 2 \cdot 23) = 888mm$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 12 = 8,4mm$$

Za pretpostavljeni var **a=8,0mm**

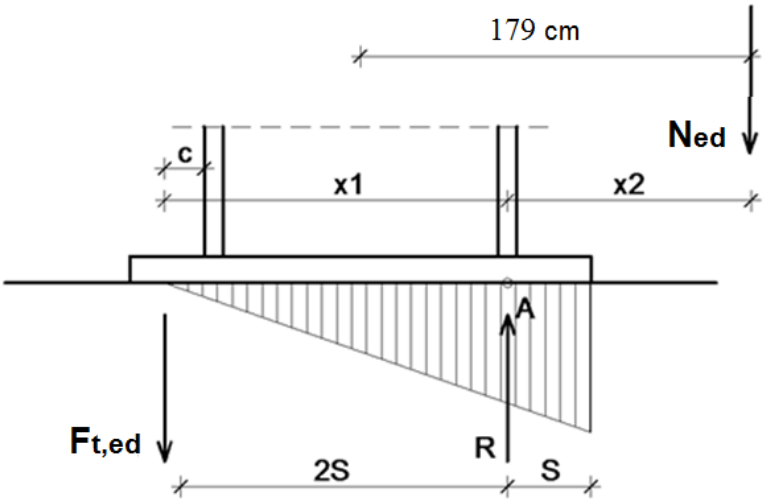
Kvaliteta vara:

S275 $F_{w,Rk}$=233,7 kN

Otpornost vara pojasnice : $F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{233,7 \cdot 600}{1,25 \cdot 100}$ = 1121,76 kN > N_p= 816,22 kN

Otpornost vara hrpta: $F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_2}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{233,7 \cdot 888}{1,25 \cdot 100}$ = 1660,20kN > N_{Ed}= 270,07 kN

Proračun vijaka:



Slika 6.1.2. Prikaz ekscentriciteta

Pretpostavljeni vijak

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 8\sqrt{2} = 83{,}31mm$$

Usvojeno ***c* = 85 mm**.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{425{,}13}{270{,}07} = 1{,}57m$$

Ekscentricitet $x_1 = 85 + 490 - 23/2 = 563{,}5mm$

Ekscentricitet $x_2 = 1570 - 490/2 + 23/2 = 1336{,}5mm$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{270{,}07 \cdot 1336{,}5}{563{,}5} = 640{,}55kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1.25} = 294,16kN > \frac{F_{t,sd}}{n} = \frac{640,55}{4} = 160,14kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na **8 vijaka.**

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245,1}{1.25} = 196,08kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{8} = \frac{161,02}{8} = 20,13kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{160,14}{1.4 \cdot 294,16} + \frac{20,13}{196,08} = 0.49 < 1.0$$

Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

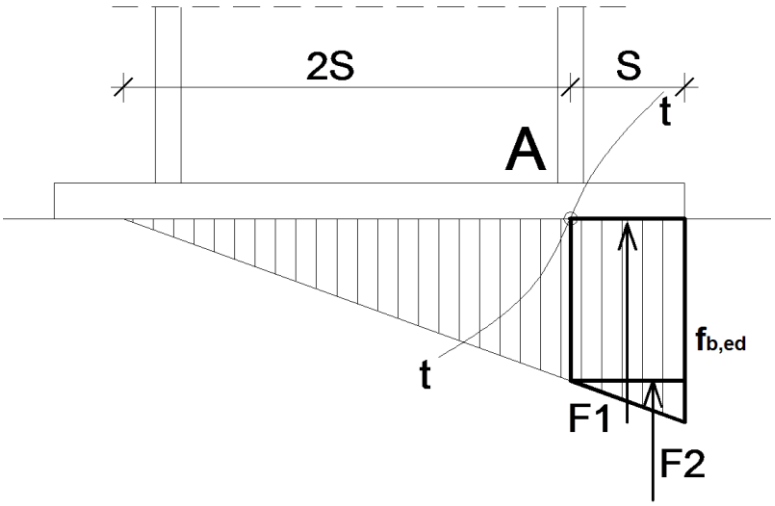
$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 8 \cdot \sqrt{2} + 20 = 342,63mm$$

$$b_{pl}^{\min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2 = 3 \cdot 120 + 2 \cdot 70 = 500mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 850x550mm

Proračun debljine ploče



Slika 6.1.3. Shema proračuna debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{8} = 20{,}13\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{20{,}13 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{297{,}7} = 0{,}85\,\text{mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge:

$$S = (850 - 490 + 23)/2 = 191{,}5mm = 19{,}15cm$$

$$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 640{,}55 + 270{,}07 = 910{,}62kN$$

Naprezanje na betonu:

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{910{,}62}{\frac{3 \cdot 19{,}15 \cdot 55}{2}} = 0{,}58kN/cm^2 \le \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.66kN/cm^2$$

Savijanje ploče:

$$M_{sd} = F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{3 \cdot S}{2} = \frac{2}{3} f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot S =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 5800 \cdot 0.192 \cdot 0.55 \cdot \frac{0.192}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 5800 \cdot 0.192 \cdot 0.55}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.192 = 52{,}26 kNm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot (c + t_f/2) = 61{,}81 kNm$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\,\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 6181 \cdot 6}{55 \cdot 27.5}} = 5{,}19 cm$$

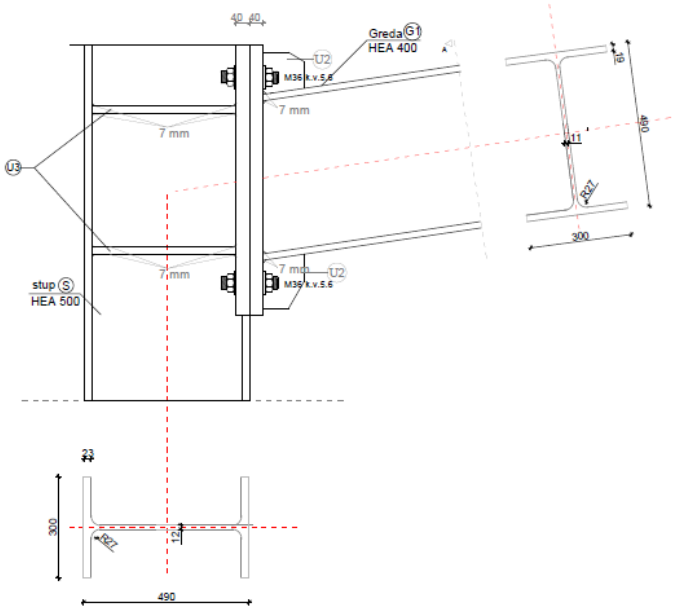
$$t_{pl} = 4{,}0 cm$$

Napomena:

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 5,19 cm. Iz tog razloga odabiremo za debljinu ploče d=4 cm i po sredini pojasnica uz vijke kao produženje hrpta postavljamo dodatne ukrute koje su zavarene sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuju i stabiliziraju spoj.

Usvojene dimenzije ploče su 850x550x40 mm.

6.2. Upeti spoj D2 stup – greda



Slika 6.2.1. Spoj stupa i grede ''D2''

ULAZNI PODACI:

N_{Ed} = 179,18 kN (tlak) M_{Ed} = 621,49 kNm V_{Ed} = 184,45 kN

Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6 M=36

Poprečni presjek:

STUP:	GREDA:
Profil: HEA500	Profil: HEA 400
h= 490 mm	h=490 mm
b= 300 mm	b=300 mm
t_w= 12 mm	t_w=11 mm
t_f= 23 mm	t_f=19 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{621,49}{(0.49 - 0.019)} = 1319,51kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{1,9 \cdot 30}{159} \cdot 179,18 = 64,23kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 1319,51 - 64,23 = 1255,28kN(vlak)$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$L_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600mm$$

Dužina vara hrpta:

$$L_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (490 - 2 \cdot 19) = 904mm$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 1 = 7,7mm$$

Za pretpostavljeni var **a=7,0mm**

Kvaliteta vara:

S275 $F_{w,Rk}$=204,4kN

Otpornost vara pojasnice : $F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{204,4 \cdot 600}{1,25 \cdot 100}$= 981,12 kN < N_p=1255,28kN

Potrebno je povećati duljinu vara pojasnice ukrutama:

L_{ukrute}: 80mm (na svako kraju pojasnice) sada je

$$L_1^* = 2 \cdot (b + 2 \cdot 80) = 920mm$$

$F_{w,Rd^*} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_{1*}}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{204,4 \cdot 920}{1,25 \cdot 100}$= 1504,38kN > N_p=1255,28kN

*Sada je $b_{pojasnica}$=460mm

Otpornost vara hrpta: $F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_2}{\gamma_{M2} \cdot 100} = \frac{204,4 \cdot 904}{1,25 \cdot 100}$ = 1478,22kN > N_{Ed}=179,18kN

Proračun vijaka:

Pretpostavljeni vijak

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7\sqrt{2} = 81,90mm$$

Usvojeno ***c* = 85 mm**.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{621,49}{179,18} = 3,47m$$

Ekscentricitet $x_1 = 85 + 490 - 19/2 = 565,5mm$

Ekscentricitet $x_2 = 3470 - 490/2 + 19/2 = 3234,5mm$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{179,18 \cdot 3234,5}{565,5} = 1024,86kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1.25} = 294,16kN > \frac{F_{t,sd}}{n} = \frac{1024,86}{8} = 128,11kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na **8 vijaka**.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245{,}1}{1.25} = 196{,}08kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{184{,}45}{8} = 23{,}06kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{128{,}11}{1.4 \cdot 367{,}7} + \frac{23{,}06}{245{,}1} = 0.34 < 1.0$$

Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 490 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 529{,}80mm$$

b = 460mm zbog ukruta!

$$b_{pl}^{\min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2 = 3 \cdot 120 + 2 \cdot 70 = 500mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 850x550mm

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{8} = 23{,}05\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{23{,}05 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{297{,}7} = 0{,}96\,\text{mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot (c + t_f/2) = 96{,}85\text{kNm}$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\,\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 9685 \cdot 6}{55 \cdot 27.5}} = 6{,}50cm$$

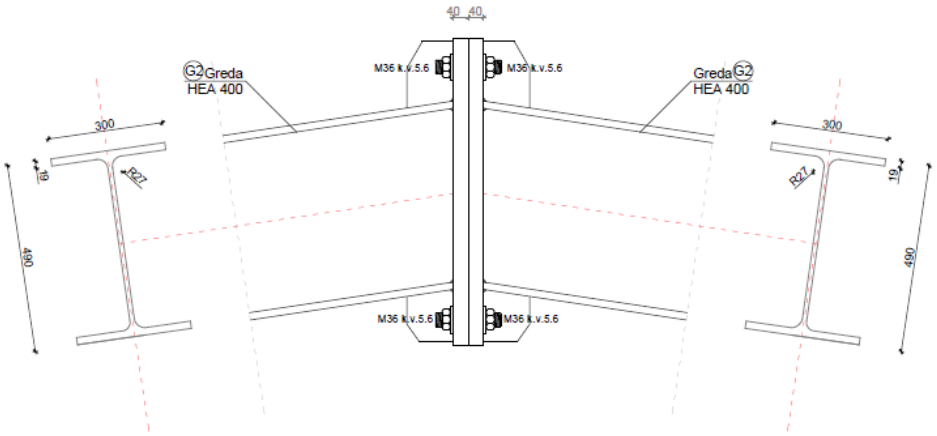
$$t_{pl} = 4{,}0cm$$

Napomena:

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 6,50 cm. Iz tog razloga odabiremo za debljinu ploče d=4 cm i po sredini pojasnica uz vijke kao produženje hrpta postavljamo dodatne ukrute koje su zavarene sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuju i stabiliziraju spoj.Također potrebno je izrezati pojasnicu stupa na mjestu montaže ploče i postaviti deblju i širu pojasnicu radi izvedbe spoja.

Usvojene dimenzije ploče su 850x550x40 mm.

6.3. Upeti spoj D3 greda-greda



Slika 6.3.1. Spoj dvije grede u sljemenu ''D3''

ULAZNI PODACI:

N_{Ed} = 179,18 kN (tlak) M_{Ed} = 320,09 kNm V_{Ed} = 15,16 kN

Materijal:

Osnovni materijal: S275

Vijci: k.v. 5.6 M=36

Poprečni presjek:

Profil: HEA 400

h= 490 mm

b= 300 mm

t_w= 11 mm

t_f= 19 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{320,09}{(0.49 - 0.019)} = 679,60kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{1,9 \cdot 30}{159} \cdot 179,18 = 65,23kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 679,60 - 65,23 = 614,37kN(vlak)$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$L_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600mm$$

Dužina vara hrpta:

$$L_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 904mm$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 11 = 7,7mm$$

Za pretpostavljeni var a=7,0mm

Kvaliteta vara:

S275 $F_{w,Rk}$=204,4 kN

Otpornost vara pojasnice : $F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_1}{\gamma_{M2} \cdot 100}$ = 981,12kN > N_p=614,37kN

Otpornost vara hrpta: $F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk} \cdot L_2}{\gamma_{M2} \cdot 100}$ = 1478,22kN > N_{Ed}=179,18kN

Proračun vijaka:

Pretpostavljeni vijak

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7\sqrt{2} = 81{,}90mm$$

Usvojeno ***c* = 85 mm**.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{320{,}09}{179{,}18} = 1{,}77m$$

Ekscentricitet $x_1 = 85 + 490 - 19/2 = 565{,}5mm$

Ekscentricitet $x_2 = 1770 - 490/2 + 19/2 = 1534{,}5mm$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{179{,}18 \cdot 1534{,}5}{565{,}5} = 486{,}21kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367{,}7}{1.25} = 294{,}16kN > \frac{F_{t,sd}}{n} = \frac{486{,}2}{4} = 121{,}55kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na **4 vijaka**.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245{,}1}{1.25} = 196{,}08kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{15{,}16}{4} = 3{,}79kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{121{,}55}{1.4 \cdot 294{,}16} + \frac{3{,}79}{196{,}08} = 0.31 < 1.0$$

Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339{,}80mm$$

$$b_{pl}^{\min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2 = 3 \cdot 120 + 2 \cdot 70 = 500mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 850x500mm

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{4} = 3{,}79\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3{,}79 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{297{,}7} = 0{,}12 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$M_{Sd} = F_{t,Sd} \cdot (c + t_f/2) = 45{,}95$ kNm

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 4595 \cdot 6}{50 \cdot 27.5}} = 4{,}7cm$$

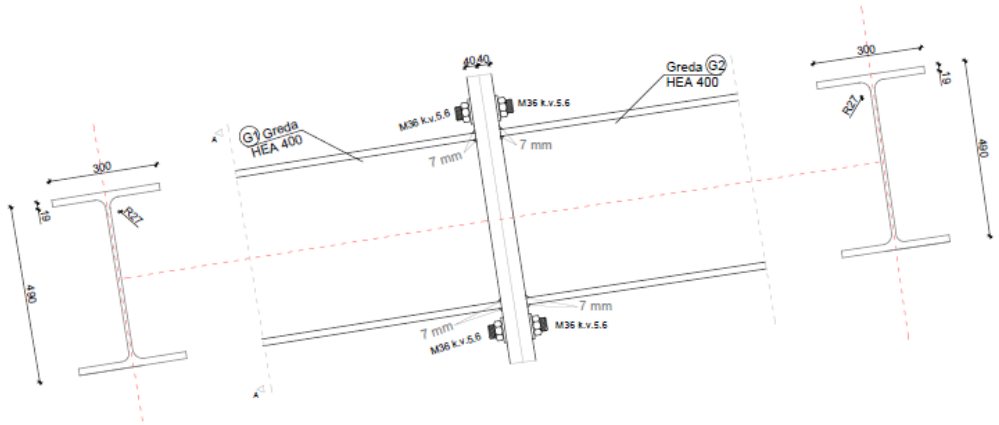
$$t_{pl} = 4{,}0cm$$

Napomena:

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 4,7 cm. Iz tog razloga odabiremo za debljinu ploče d=4 cm i po sredini pojasnice između vijaka kao produženje hrpta postavljamo dodatne ukrute koje su zavarene sa stupom i pločicom te dodatno ukrućuju i stabiliziraju spoj.

Usvojene dimenzije ploče su 850x500x40 mm.

6.4. Dimenzioniranje spoja nastavka grede ''D4''



Slika 6.4.1. Spoj nastavka grede ''D4''

Ulazni podaci

Veličine djelovanja:
M_{Ed} = 198,60kNm , V_{Ed}=32,40 kN, N_{Ed}= 179,18 kN(tlak)

Materijal:
Osnovni materijal: S275
Vijci: k.v. 5.6

Poprečni presjek:
Profil: HEA 400

h = 490 mm

b = 300 mm

t_w= 11 mm

t_f = 19 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{198,60}{(0.49 - 0.019)} = 421,66kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{30 \cdot 1,9}{159} \cdot 179,18 = -64,23kN$$

30Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 421,66 - 64,23kN = 357,43kN = F_{w,ed}$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (490 - 2 \cdot 19) = 904mm$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 11 = 7,7mm$$

Za pretpostavljeni var: **a=7,0mm** → $F_{w,rk} = 204,4$

Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{204,4}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 981,12kN > F_{w,ed} = 357,43kN$$

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{204,4}{1.25} \cdot \frac{904}{100} = 1478,22kN > V_{Ed} = 32,40kN$$

Pretpostavljeni vijak:

M 36 ; k.v. 5.6

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7\sqrt{2} = 81,31mm$$

Usvojeni ***c* = 85 mm**.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{198,60}{179,18} = 1,11m$$

Ekscentricitet $x_1 = 85 + 490 - \frac{19}{2} = 565,5mm = 0.566m$

Ekscentricitet $x_2 = 1110 - \frac{490}{2} + \frac{19}{2} = 875mm = 0,88m$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{ed} \cdot x_2 = F_{t,ed} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,ed} = \frac{N_{ed} \cdot x_2}{x_1} = \frac{179,18 \cdot 0,88}{0,566} = 278,58kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{367,7}{1.25} = 294,16kN > \frac{F_{t,ed}}{2} = \frac{278,58}{2} = 139,29kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na **4 vijaka.**

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{245,1}{1.25} = 196,08kN > F_{v,ed} = \frac{V_{ed}}{4} = \frac{32,40}{4} = 8,10kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,ed}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,ed}}{F_{v,rd}} \le 1.0 \Rightarrow \frac{278,58}{1.4 \cdot 294,16} + \frac{8,10}{196,08} = 0.72 \le 1.0$$

Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 490 + 2 \cdot (85 + 90) = 840mm$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 120 + 2 \cdot 70 = 260mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339,80mm$$

Odabrane dimenzije dužine i širine ploče su 850x400 (mm)

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{32,40}{4} = 8,10\text{kN} = F_{b,Ed} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{8,10 \cdot 1,25 \cdot 10}{297,7} = 0,4\text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

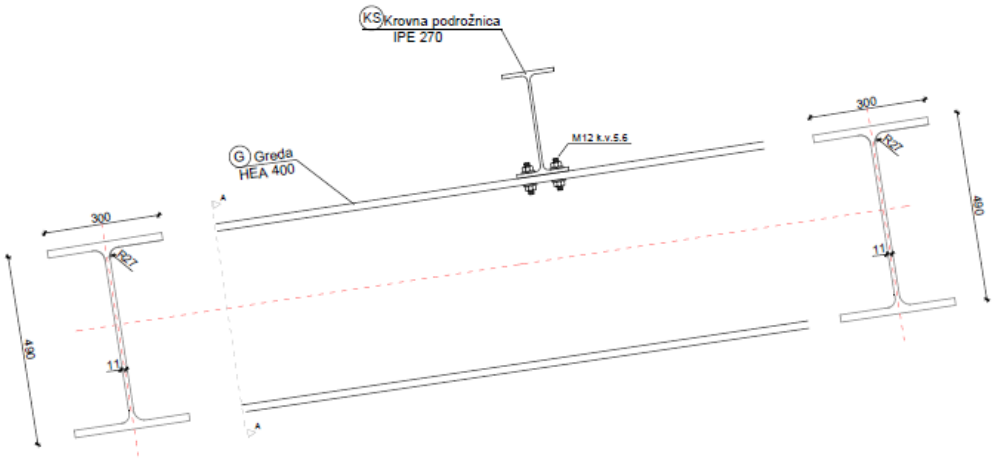
$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot (c + \frac{t_f}{2}) = 278,58 \cdot (0,085 + 0,0095) = 26,33kNm$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t^2{}_{pl}{}^{\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 1986 \cdot 6}{40 \cdot 27.5}} = 3,45cm$$

$$t_{pl} = 3,45cm$$

Usvojene dimenzije ploče su 850x400x40 mm

6.5. Dimenzioniranje spoja krovne podrožnice na gredu ''D5''



Slika 6.5.1. Spoj krovne podrožnice i grede ''D5''

Ulazni podaci

-Mjerodavna kombinacija je za podtlačno djelovanje vjetra jer najnepovoljnije djeluje na spoj.

$V_{z,Ed}$ = 3,04 kN (odizanje)

$V_{y,Ed}$ = 62,13 kN (uzdužna sila N_{Ed})

Materijal:
Osnovni materijal: S275
Vijci: k.v. 5.6

Poprečni presjek:

Krovna podrožnica:
Profil: IPE 270
h= 270 mm
b= 135 mm
t_w= 7 mm
t_f= 10 mm

Greda:
Profil: HEA 400
h= 490 mm
b= 300 mm
t_w= 11 mm
t_f= 19 mm

Pretpostavljeni vijak

M 12 ; k.v. 5.6

Otpornost vijka na vlak:

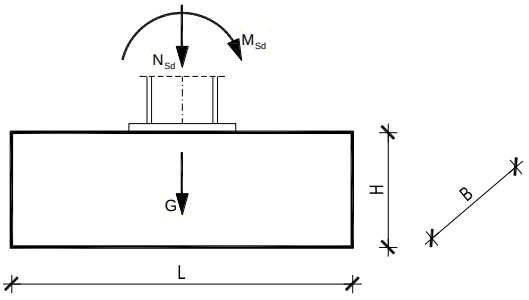
$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,9}{1.25} = 30,32kN > F_{t,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{3,04}{4} = 0,76kN$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1.25} = 20,24kN > F_{v,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{62,13}{4} = 15,53kN$$

7. Proračun temelja



ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA

$L = 2{,}5\,\text{m}$

$B = 3{,}0\,\text{m}$

$H = 1{,}5\,\text{m}$

MATERIJAL

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

Beton C25/30 $f_{ck} = 2{,}5\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

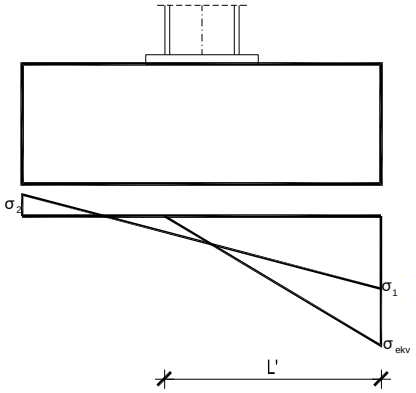
Čelik B500B $f_{yk} = 50{,}0\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

REZNE SILE

$N_{Ed} = -270{,}07\text{kN}$

$V_{Ed} = 161{,}02\,\text{kN}$

$M_{Ed} = 425{,}13\,\text{kNm}$



Površina temeljne stope

$A = L \cdot B = 2{,}5 \cdot 3 = 7{,}5\,\text{m}^2$

Težina temeljne stope

$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2{,}5 \cdot 3{,}0 \cdot 1{,}5 \cdot 25 = 281{,}25\,\text{kN}$

Moment otpora temeljne stope

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{3{,}0 \cdot 2{,}5^2}{6} = 3{,}13\,\text{m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

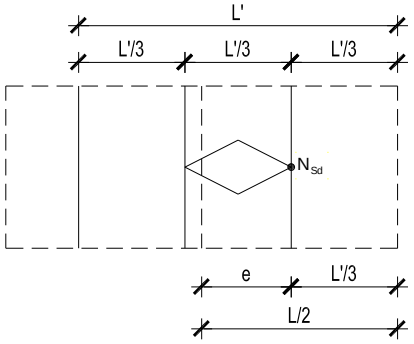
$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{270{,}07 + 281{,}25}{7{,}5} \pm \frac{425{,}13}{3{,}13} = 73{,}51 \pm 135{,}82$$

$\sigma_1 = 209{,}33\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$\sigma_2 = -62{,}31\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

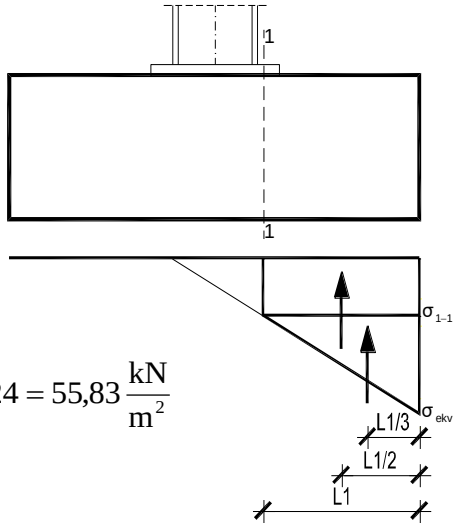
$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{425{,}13}{270{,}07 + 281{,}25} = 0{,}77\ \text{m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2{,}5}{2} - 0{,}77 \right) = 1{,}44\ \text{m}$$



$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (270{,}07 + 281{,}25)}{1{,}44 \cdot 3{,}0} = 255{,}24\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla,\text{lim}} = 300{,}0\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

PRORAČUN ARMATURE TEMELJA



$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2{,}5 - 0{,}25}{2} = 1{,}125\ \text{m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1{,}44 - 1{,}125}{1{,}44} \cdot 255{,}24 = 55{,}83\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1{,}4 \cdot \left(55{,}83 \cdot \frac{1{,}125^2}{2} \cdot 3{,}0 + \frac{255{,}24 - 55{,}83}{2} \cdot 1{,}125 \cdot 3{,}0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1{,}125 \right) = 501{,}72\ \text{kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0{,}8 \cdot H = 0{,}8 \cdot 1{,}5 = 1{,}2\ \text{m} = 120\ \text{cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_S}} = \frac{50172}{120 \cdot \frac{50{,}0}{1{,}15}} = 9{,}62\text{cm}^2 < A_{S1,\text{min}} = \frac{0{,}1}{100} \cdot B \cdot H = 45\ \text{cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura → ø22/10 12 kom = 45,62 cm^2

razdjelna armatura → ø8/25

LITERATURA

[1] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

[2] ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln fur den Hachbau.

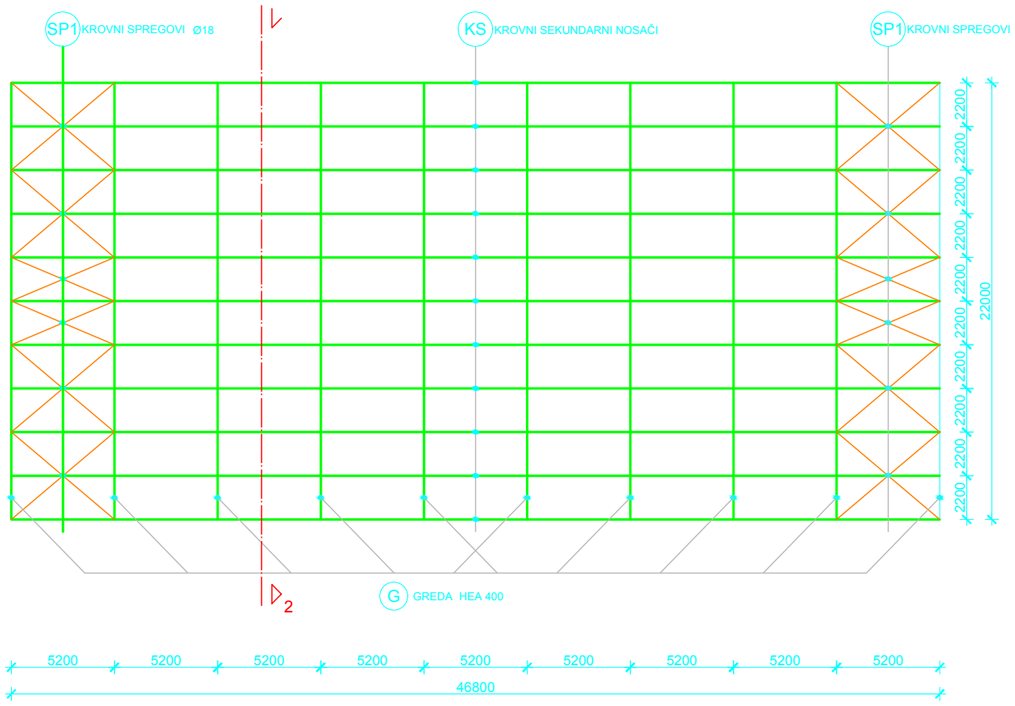
[3] Ivica Boko: Predavanja

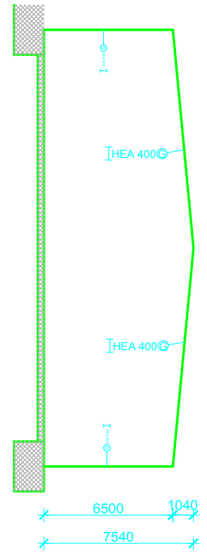
[4] Repozitorij: Građevinski fakultet Split

8. Nacrti

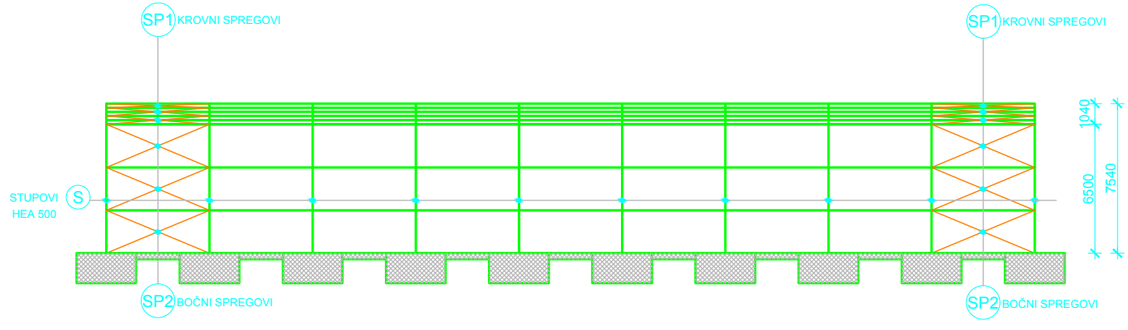
GENERALNI PLAN POZICIJA
M1:200

TLOCRTNI PRIKAZ





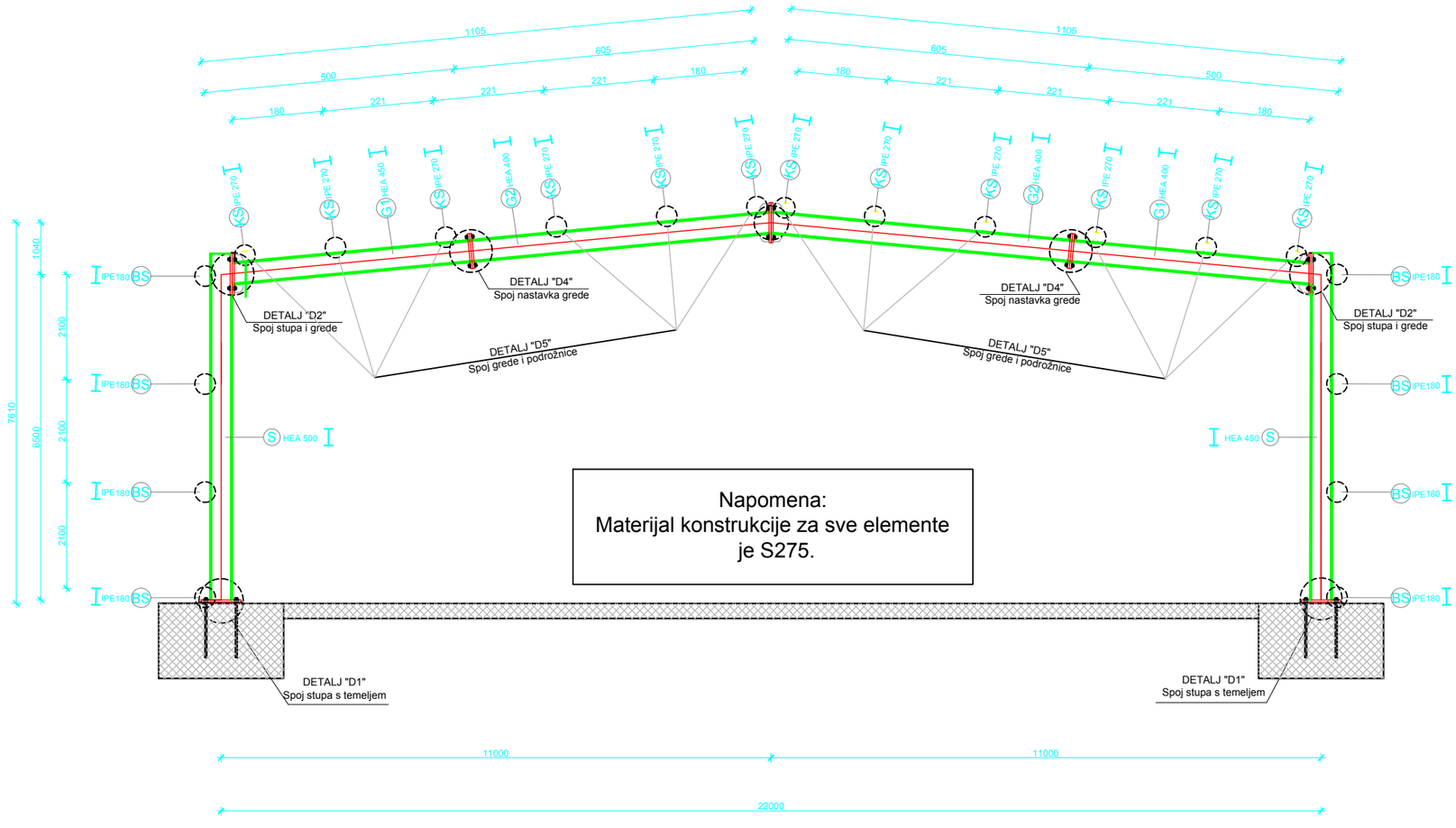
BOČNI PRIKAZ



SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović, 1653
SADRŽAJ	Generalni plan pozicija
MJERILO	1:200
DATUM	veljača, 2018
BROJ PRILOGA	1

POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA
M 1:50

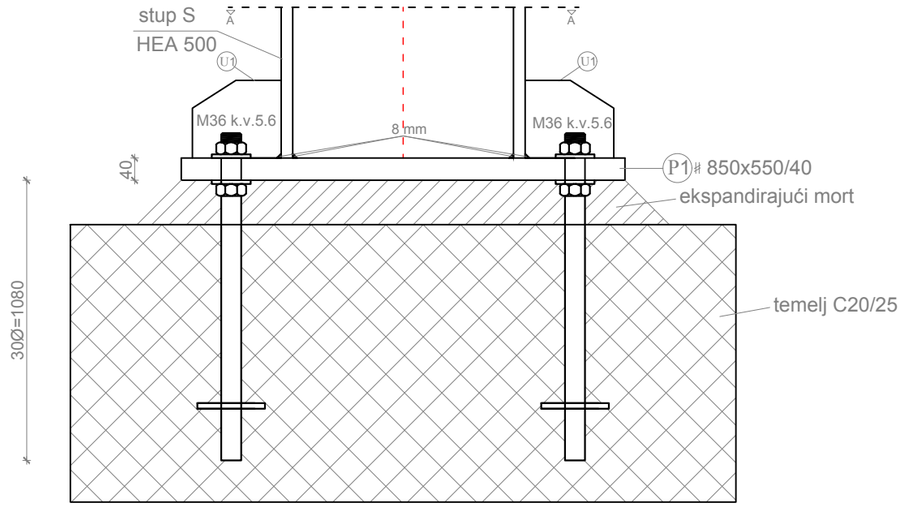


Napomena:
Materijal konstrukcije za sve elemente je S275.

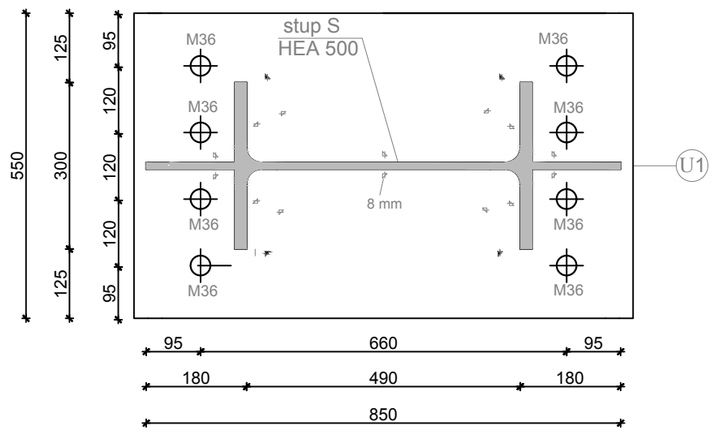
SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović
SADRŽAJ	Poprečni presjek glavnog nosača
MJERILO	1:50
BROJ PRILOGA	2
DATUM	veljača 2018

DETALJ SPOJA "D1" STUP-TEMELJ M 1:10



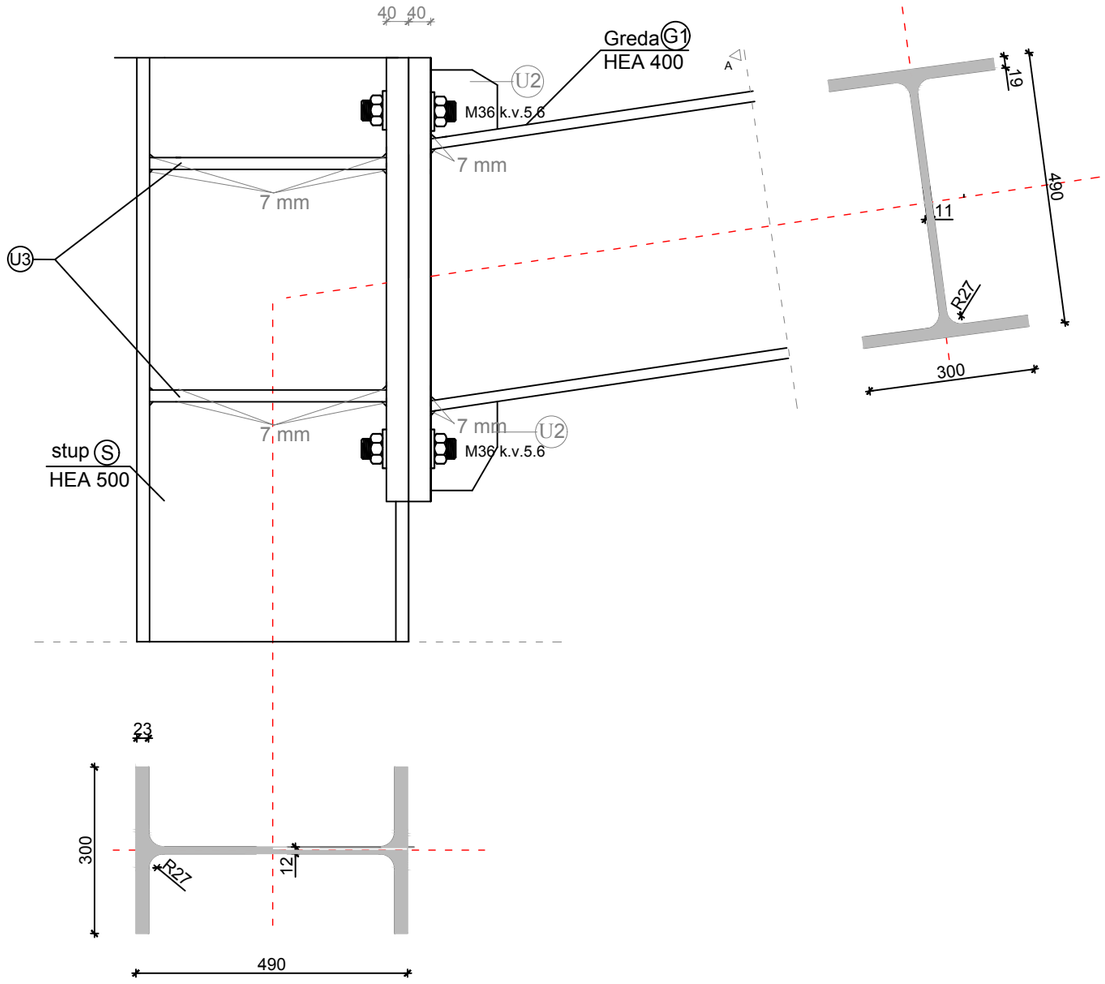
A-A

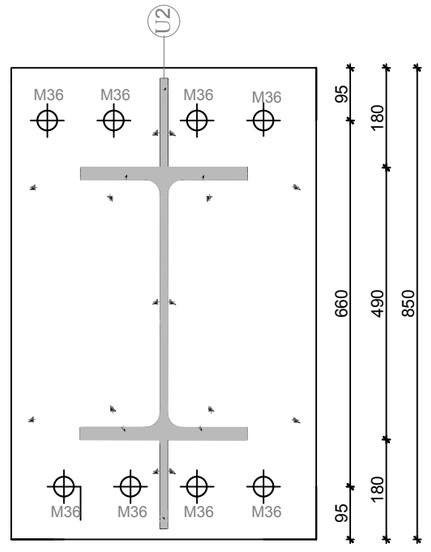


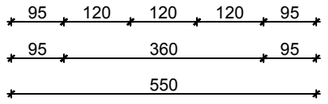
SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija		
TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE		
STUDENT: Marija Antolović, 1653		
SADRŽAJ: Detalj spoja stupa i temelja	MJERILO: 1:10	
DATUM: veljača 2018	BROJ PRILOGA: 3	

DETALJ SPOJA "D2" STUP-GREDA M 1:10



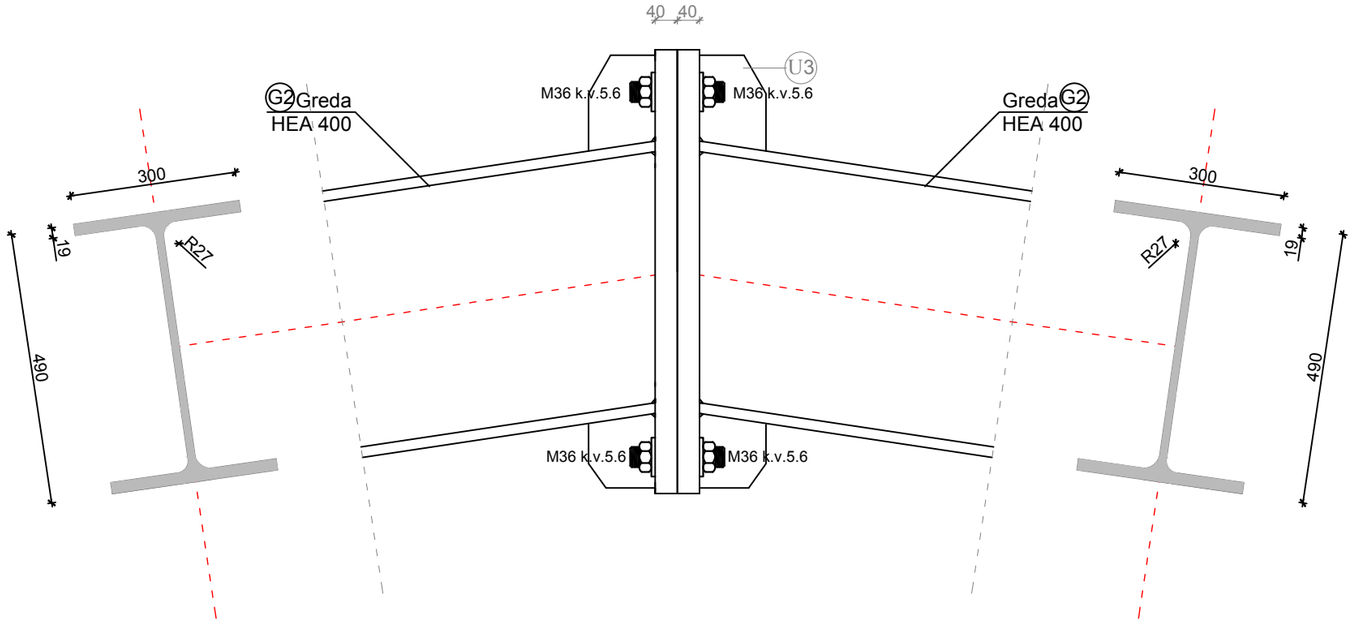


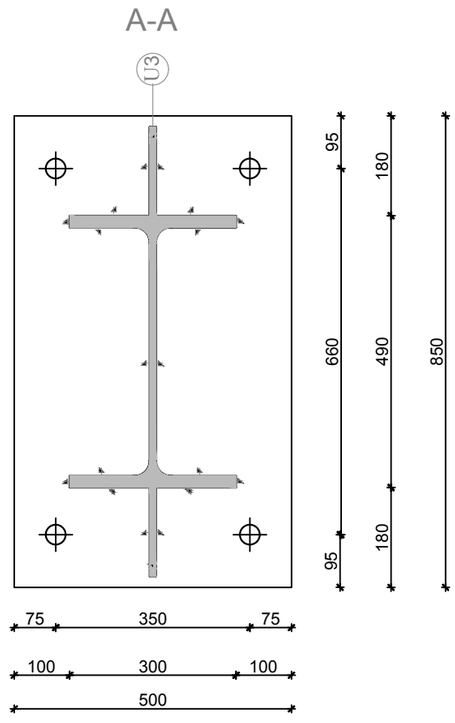


SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija	
TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUDENT: Marija Antolović	
SADRŽAJ: Detalj spoja stupa i grede	MJERILO: 1:10
DATUM: 2016	BROJ PRILOGA: 4

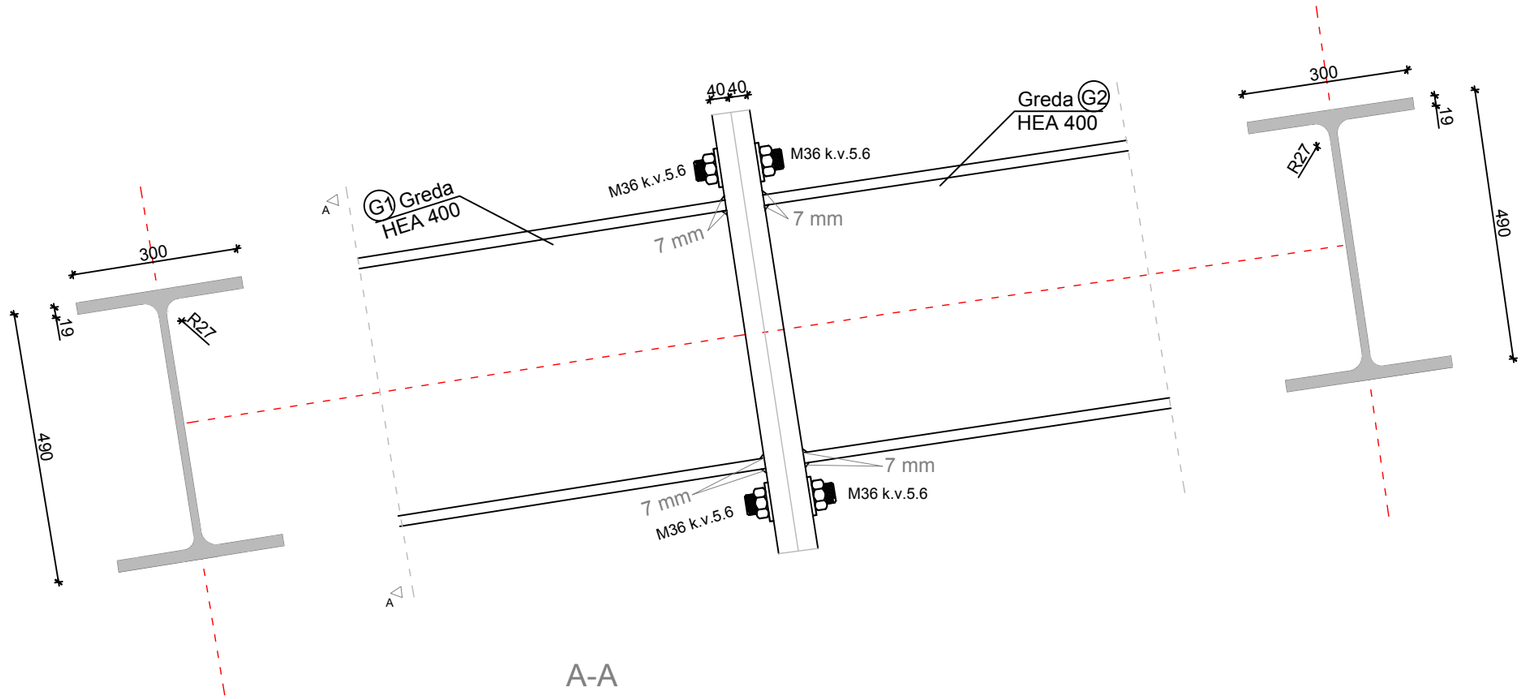
DETALJ SPOJA "D3" GREDA-GREDA M 1:10



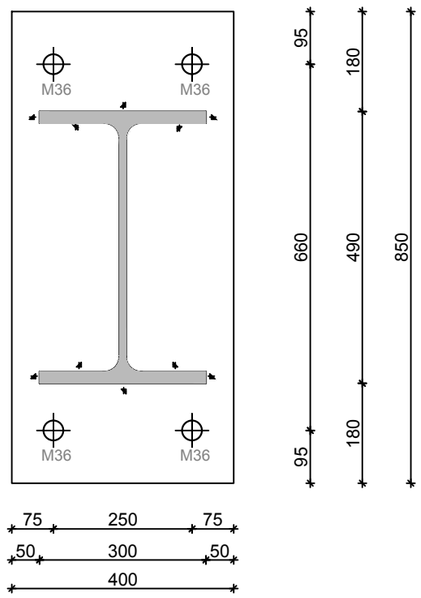


SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović, 1653
SADRŽAJ	Detalj spoja dviju greda u sljemenu
MJERILO	1:10
DATUM	veljača 2018
BROJ PRILOGA	5

DETALJ SPOJA "D4" GREDA-GREDA M 1:10



A-A



SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

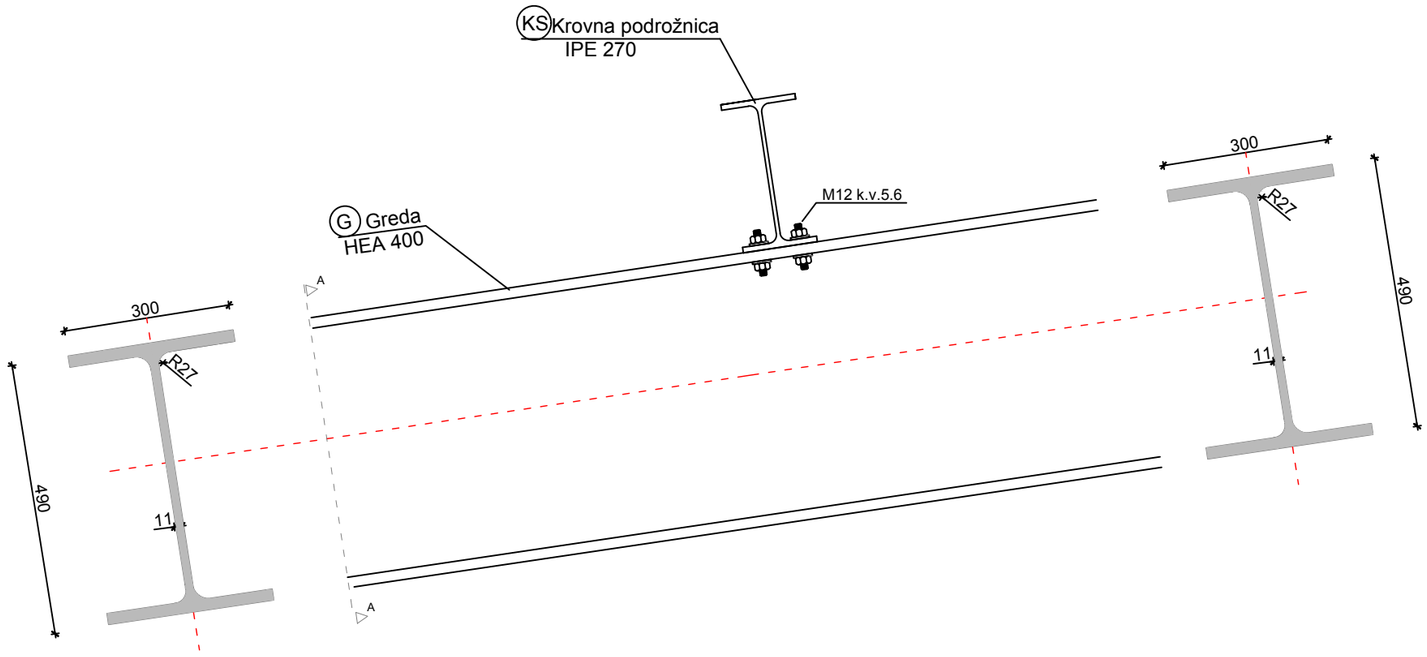
STUDENT: Marija Antolović, 1653

SADRŽAJ: Detalj spoja nastavka grede

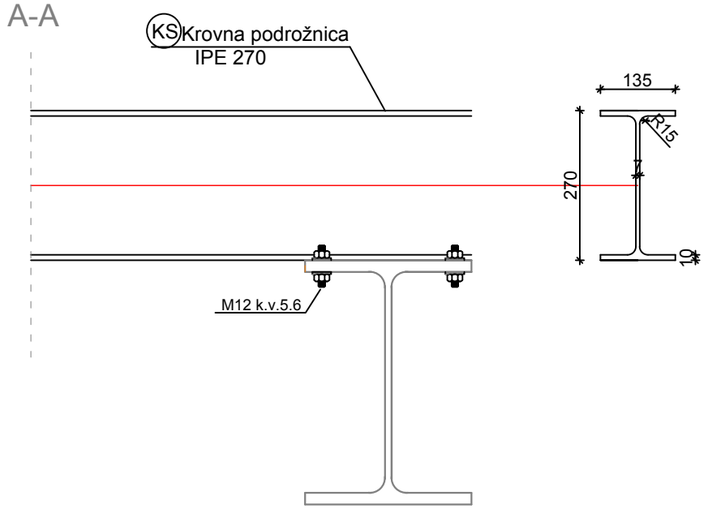
MJERILO: 1:10

BROJ PRILOGA: 6

DETALJ SPOJA "D5" PODROŽNICA-GREDA M 1:10



A-A

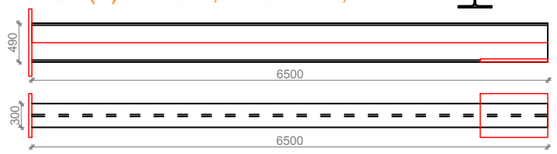


SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

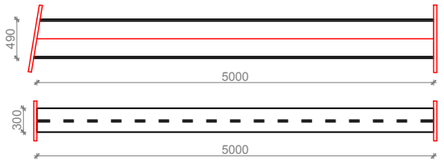
	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović,1653
SADRŽAJ	Detalj spoja krovne podrožnice i grede
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	7
DATUM	veljača 2018

RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

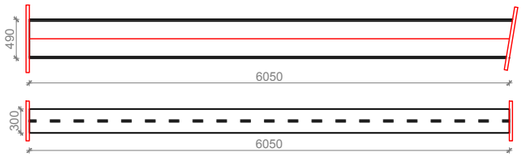
STUP (S) HEA 500, L=6500 mm, 2x10 kom



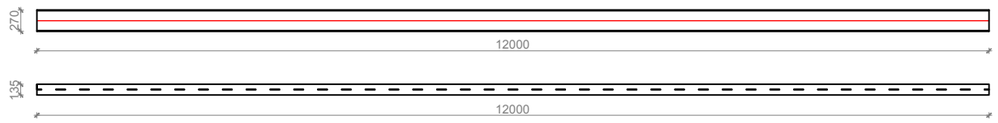
GREDA (G1) HEA 400, L=5000 mm, 2x10kom



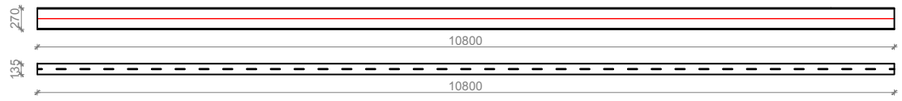
GREDA (G2) HEA 400, L=6050 mm, 2x10kom



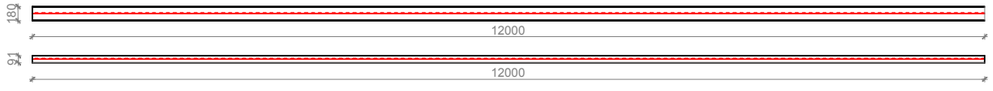
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČ (KS1) IPE 270, L=12000 mm, 11 X 3kom



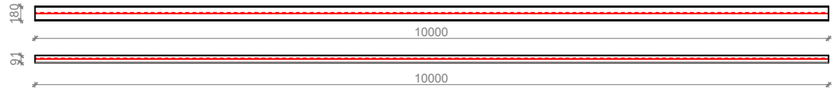
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČ (KS2) IPE 270, L=10800 mm, 11 X 1kom



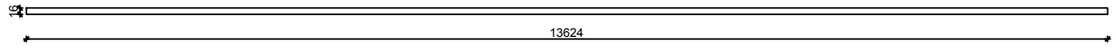
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČ (BS1) IPE 180, L=12000 mm, 8 X 3kom



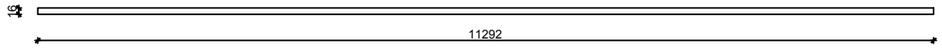
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČ (BS2) IPE 180, L=10800 mm, 8 X 1kom



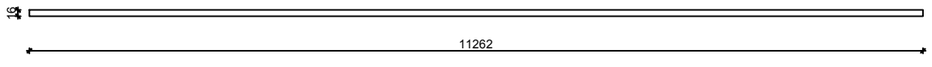
KROVNI SPREG Ø16, L= 13624mm, 4X2 kom



KROVNI SPREG Ø16, 11292mm, 2X2 kom



BOČNI SPREG Ø16, L=11262 mm, 6X2 kom



SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Marija Antolović,1653
SADRŽAJ	Radionički nacrt
MJERILO	1:50
DATUM	veljača 2018
BROJ PRILOGA	8

PRIKAZ PLOČICA M 1:10

Pločica (P1);
850x550/40



Pločica (P3);
850x500/40



Pločica (P2);
850x550/40



Pločica (P4);
850x400/40



SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Marija Antolović, 1653

SADRŽAJ: Prikaz pločica

MJERILO: 1:10

BROJ PRILOGA: 9

DATUM: veljača 2018

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 500	6500	20	155,43	20205,90
Greda (G1)	HEA 400	5000	20	124,82	12582,00
Greda (G2)	HEA 400	6050	20	124,82	15103,20
Krovni sekundarni nosač (KS1)	IPE 270	12000	33	36,03	14267,88
Krovni sekundarni nosač (KS2)	IPE 270	10800	11	36,03	4280,36
Bočni sekundarni nosač (BS1)	IPE 180	12000	24	18,8	5414,44
Bočni sekundarni nosač (BS2)	IPE 180	10800	8	18,8	1624,32
Pločica (P1)	850x550x40	Proračun preko zapremnine	20	Proračun preko zapremnine	2935,90
Pločica (P2)	850x550x40	Proračun preko zapremnine	40	Proračun preko zapremnine	5871,80
Pločica (P3)	850x500x40	Proračun preko zapremnine	20	Proračun preko zapremnine	2669,00
Pločica (P4)	850x400x40	Proračun preko zapremnine	40	Proračun preko zapremnine	4270,40
Krovni spreg(SP1)	Ø16	13624	8	1,57	171,27
Krovni spreg(SP1)	Ø16	11292	8	1,57	141,83
Bočni spreg(SP2)	Ø16	11262	12	1,57	212,18
			Ukupno (kg)		89750,48
			+2,0% spojna sredstva		1795,01
			UKUPNO (kg)		91545,49

SVEUČILIŠTE U SPLITU,
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Marija Antolović,1653

SADRŽAJ: Predmjer materijala

MJERILO:

DATUM: veljača 2018

BROJ PRILOGA: 10