

Čelična konstrukcija jednostrešne nadstrešnice za natkrivanje autobusa

Osojnak, Mateo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:757128>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Mateo Osojnak

Čelična konstrukcija jednostrešne nadstrešnice za natkrivanje autobusa

Završni rad

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Sveučilišni prijediplomski studij
Osnove čeličnih konstrukcija

Mateo Osojnak
JMBAG: 0114036436

Čelična konstrukcija jednostrešne nadstrešnice za natkrivanje autobusa

Završni rad

Rijeka, rujan 2024.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

A handwritten signature in blue ink that reads "Mateo Gajucic". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

U Rijeci, rujan 2024.

Sadržaj:

1. Uvod.....	10
2. Oblikovanje konstrukcije	11
3. Tehnički opis	12
4. Analiza djelovanja.....	17
4.1. Stalno djelovanje	17
4.2. Promjenjivo djelovanje.....	18
4.2.1. Djelovanje snijega	18
4.2.2. Djelovanje vjetra	20
5. Kombinacije djelovanja.....	27
6. Statički proračun	28
6.1. Dijagrami unutarnjih sila za stupove HEA 700	28
6.2. Dijagrami unutarnjih sila za stupove HEA 400	29
6.3. Dijagrami unutarnjih sila za gredu	30
6.4. Dijagrami unutarnjih sila za podrožnice	32
7. Dimenzioniranje glavnih elemenata konstrukcije za granično stanje nosivosti.....	33
7.1. Dimenzioniranje stupa HEA 700	33
7.2. Dimenzioniranje stupa HEA 400	48
7.3. Dimenzioniranje podrožnica IPE 360	59
7.4. Dimenzioniranje grede	65
8. Dimenzioniranje glavnih elemenata konstrukcije za granično stanje uporabljivosti	87
8.1. Provjera pomaka podrožnice	87
8.2. Provjera pomaka grede	87
8.3. Provjera pomaka stupa HEA 700.....	88
8.4. Provjera pomaka stupa HEA 400.....	88
9. Proračun spojeva konstrukcije.....	89
9.1. Spoj stupa HEA 700 s AB temeljom.....	89
9.1.1. Otpornost vijaka	90
9.1.2. Proračun zavarenog spoja.....	94
9.2. Spoj stupa HEA 400 s AB temeljom.....	96
9.2.1. Otpornost vijaka	97
9.2.2. Proračun zavarenog spoja.....	101
9.3. Spoj stupa HEA 700 s gredom	103
9.3.1. Otpornost vijaka	104
9.3.2. Proračun zavarenog spoja.....	107

9.4. Spoj stupa HEA 400 s gredom.....	109
9.4.1. Otpornost vijaka.....	110
9.4.2. Proračun zavarenog spoja.....	113
10. Zaključak.....	115
11. Literatura.....	116
12. Nacrti	117

Popis slika:

Slika 1: Konzolna metalna nadstrešnica

Slika 2: Drvena nadstrešnica na stupovima

Slika 3: Dimenzije parkirnih mjesta

Slika 4: Prikaz pozicije autobusa s kosim prilazom

Slika 5: Numeracija stupova

Slika 6: Poprečni presjek stupa HEA 700

Slika 7: Poprečni presjek stupa HEA 400

Slika 8: Numeracija greda

Slika 9: Prikaz poprečnog presjeka grede

Slika 10: Numeracija podrožnica

Slika 11: Poprečni presjek podrožnica IPE 360

Slika 12: Katalog odabranih solarnih panela

Slika 13: Karta snježnih područja

Slika 14: Opterećenje snijega

Slika 15: Osnovna brzina $v_{b,0}$

Slika 16: Opterećenja po zonama za slučaj 1

Slika 17: Opterećenja po zonama za slučaj 2

Slika 18: Kombinacija djelovanja

Slika 19: Dijagrami momenta savijanja stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 20: Dijagrami uzdužnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 21: Dijagrami poprečnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 22: Dijagrami momenta savijanja stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 23: Dijagrami uzdužnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 24: Dijagrami poprečnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 25: Dijagrami momenta savijanja greda za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 26: Dijagrami uzdužnih sila greda za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 27: Dijagrami poprečnih sila greda za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 28: Dijagrami momenta savijanja podrožnica za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 29: Dijagrami poprečnih sila podrožnice za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

Slika 30: Položaj najopterećenijeg stupa

Slika 31: Dijagram momenta savijanja stupa za kombinaciju 6

Slika 32: Dijagram uzdužnih sila stupa za kombinaciju 6

Slika 33: Dijagram poprečnih sila stupa za kombinaciju 6

Slika 34: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Slika 35: Proračun α iz položaja nul-linije

Slika 36: Duljine izvijanja

Slika 37: Položaj najopterećenijeg stupa

Slika 38: Dijagram momenata za kombinaciju 6

Slika 39: Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 6

Slika 40: Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 6

Slika 41: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Slika 42: Položaj najopterećenije podrožnice

Slika 43: Dijagram momenata za kombinaciju 6

Slika 44: Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 6

Slika 45: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Slika 46: Položaj najopterećenije grede

Slika 47: Dijagram momenata za kombinaciju 6

Slika 48: Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 6

Slika 49: Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 6

Slika 50: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Slika 51: Prikaz točaka u kojima provodimo klasifikaciju poprečnog presjeka

Slika 52: Prikaz točaka u kojima provodimo provjeru otpornosti poprečnog presjeka na savijanje

Slika 53: Prikaz točaka u kojima provodimo provjeru otpornosti poprečnog presjeka na posmik

Slika 54: Prikaz točaka za koje provodimo provjeru otpornosti poprečnog presjeka na tlak

Slika 55: Prikaz točaka za koje provodimo provjeru otpornosti elemenata na bočno-torzijsko izvijanje

Slika 56: Prikaz točke u kojoj se javlja najveći tlak

Slika 57: Pomaci podrožnice za kombinaciju 14
Slika 58: Pomaci grede za kombinaciju 14
Slika 59: Pomaci stupa za kombinaciju 14
Slika 60: Pomaci stupa za kombinaciju 14
Slika 61: Spoj stupa s AB temeljom sa silama i momentima koji djeluju na njega
Slika 62: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 63: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 64: Spoj stupa s AB temeljom sa silama i momentima koji djeluju na njega
Slika 65: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 66: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 67: Spoj stupa s gredom sa silama i momentima koji djeluju na njega
Slika 68: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 69: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 70: Spoj stupa s gredom sa silama i momentima koji djeluju na njega
Slika 71: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja
Slika 72: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

Popis tablica:

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu
Tablica 2: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom
Tablica 3: Kategorije terena i parametri terena
Tablica 4: Vrijednosti koeficijenata za jednostrešne nadstrešnice
Tablica 5: Klasifikacija unutrašnjih tlačnih elemenata
Tablica 6: Klasifikacija vanjskih tlačnih elemenata
Tablica 7: Faktori C_i za izračun kritičkog momenta bočno-torzijskog izvijanja
Tablica 8: Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeke
Tablica 9: Faktori imperfekcije α_{LT} ovisni o krivulji izvijanja
Tablica 10: Krivulje izvijanja za poprečne presjeke
Tablica 11: Faktori imperfekcije α ovisni o krivulji izvijanja

Tablica 12: Postupak određivanja računske otpornosti za jedan vijak

Tablica 13: Vrijednosti korelacijskih koeficijenta β_w

Sažetak:

Zadatak završnog rada je osmisliti čeličnu konstrukciju nadstrešnice za natkrivanje autobusa s pokrovom od solarnih panela. U uvodu govorimo općenito o nadstrešnicama, o njihovoj podjeli, materijalu i vrsti pokrova. Zatim je provedena analiza djelovanja za područje Opatije, gdje su određena vlastita težina konstrukcije i solarnih panela, opterećenje vjetra i opterećenje snijega. Statički proračun proveden je u programu "Robot Structural Analysis Professional". Zatim je provedeno dimenzioniranje glavnih elemenata za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Proveden je i proračun spojeva nosača sa stupovima i stupova s temeljom. Za izradu nacрта je korišten "AutoCad".

Ključne riječi: čelična konstrukcija, nadstrešnica, solarni paneli, statički proračun, granično stanje nosivosti, granično stanje uporabljivosti, dimenzioniranje

Abstract:

The task of the final work is to design a steel canopy structure for vehicles with a cover made of solar panels. In the introduction, we talk about canopies in general, about their division, material and type of cover. Then an action analysis was carried out for the Opatija area, where the own weight of the structure and solar panels, wind load and snow load were determined. The static calculation was carried out in the program "Robot Structural Analysis Professional". Then, the dimensioning of the main elements for the ultimate limit state and serviceability limit state was carried out. The calculation of the joints of supports with columns and columns with the foundation was also carried out. "AutoCad" was used for drawing.

Key words: steel structure, canopy, solar panels, static calculation, ultimate limit state, serviceability limit state, dimensioning

1. Uvod

Nadstrešnica je građevni objekt koji natkriva određeni prostor s funkcijom da zaštiti vozila, ljude i sl. od atmosferskih utjecaja. Uglavnom se izvode od metala ili drva. Mogu biti konzolne (slika 1) ili oslonjene na stupovima (slika 2). Pokrov može biti limeni, crijep, solarni paneli itd.



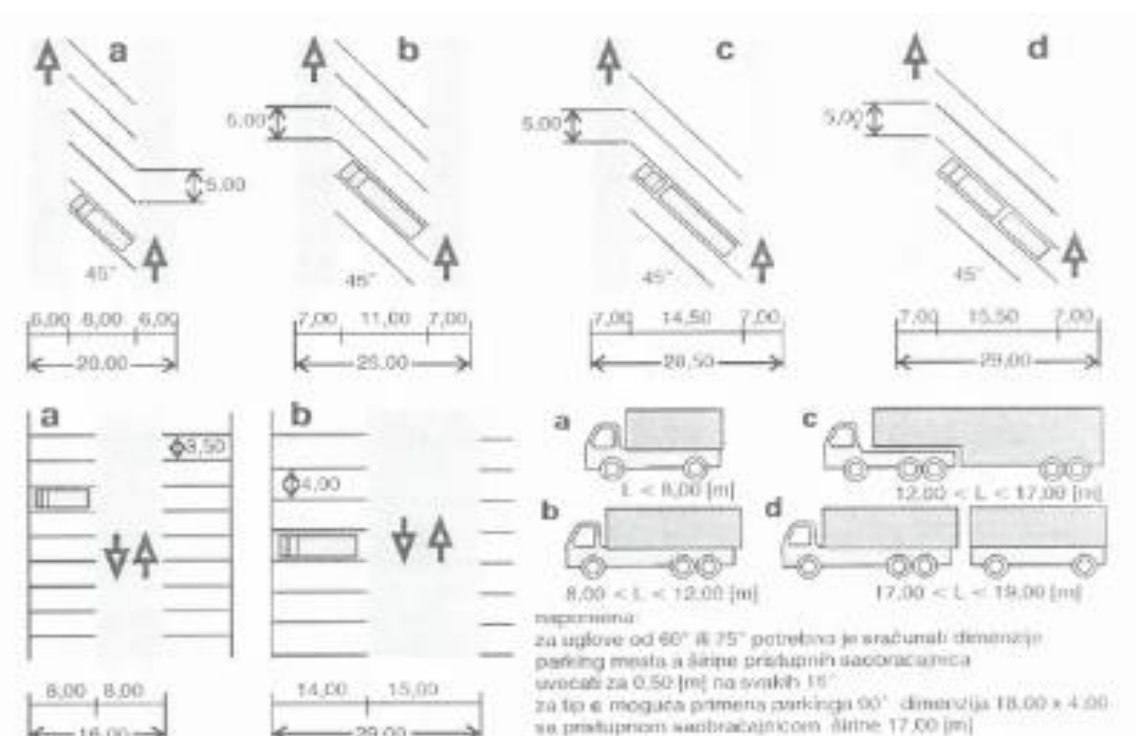
Slika 1: Konzolna metalna nadstrešnica [4]



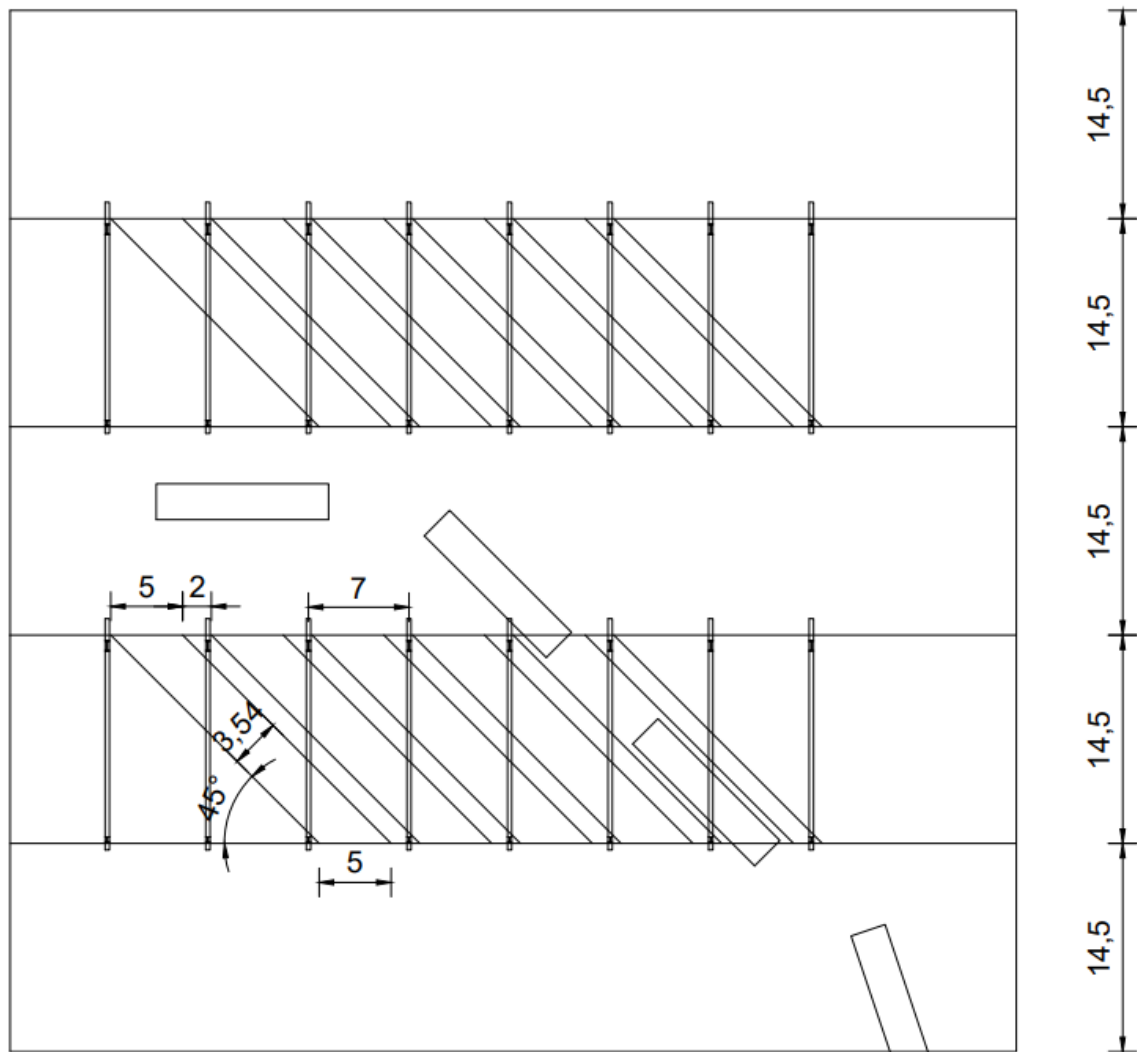
Slika 2: Drvena nadstrešnica na stupovima [5]

2. Oblikovanje konstrukcije

Konstrukcija je izvedena tako pa natkriva 5 parkirnih mjesta dimenzija $14,5 \times 5$ m pod kutom od 45° te prostor za ukrcaj putnika od 2 m. Otvor konstrukcije je 5 m kako bi autobusi visina od 3,8 m mogli imati nesmetani prolaz. Dužina grede iznosi 17 m kako bi cijela površina bila natkrivena, a njen nagib je $18,7^\circ$ jer je to optimalin nagib za ljetno razdoblje u Opatiji. Stupovi su postavljeni na prostoru za ukrcaj putnika kako ne bi smetali autobusima. Razlikujemo stupove poprečnog presjeka HEA 400 koji su niži i imaju visinu od 5,43 m i stupove poprečnog presjeka HEA 700 koji imaju visinu od 10 m. Radi boljeg estetskog izgleda greda promjenjive visine na jednom rubu ima visinu jednaku visini poprečnog presjeka HEA 700, a na drugom rubu ima visinu jednaku visini poprečnog presjeka HEA 400.



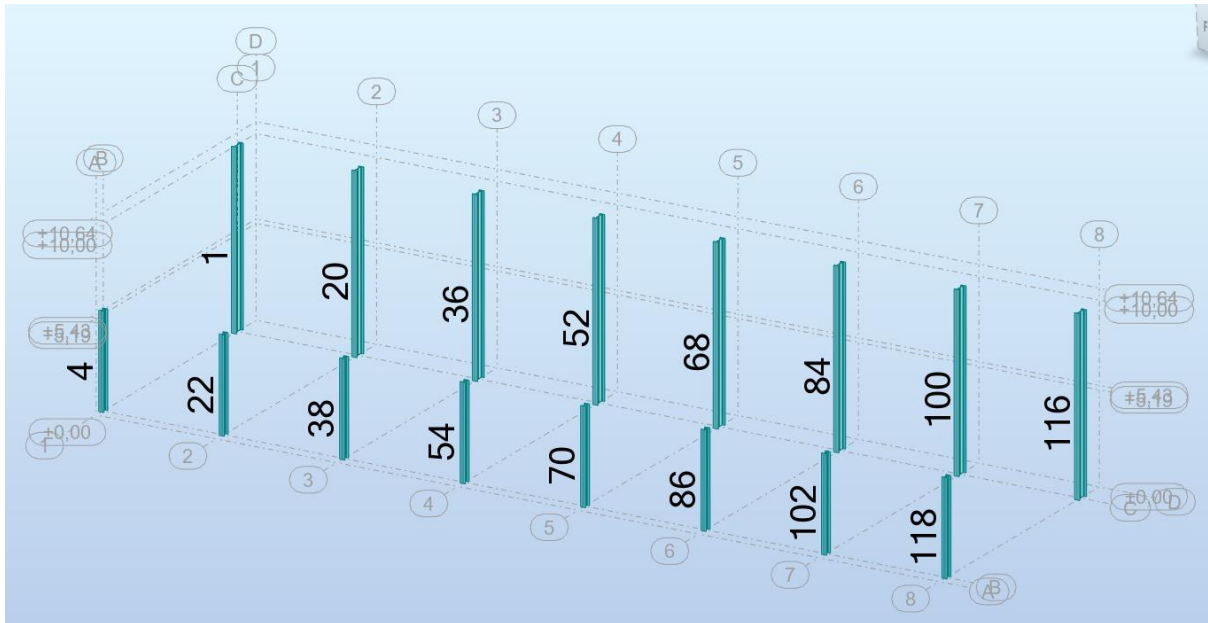
Slika 3: Dimenzije parkirnih mjesta [6]



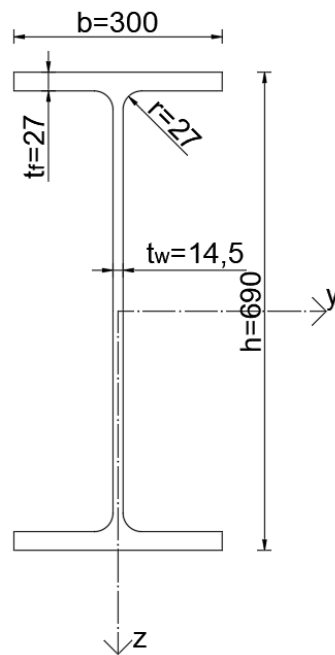
Slika 4: Prikaz pozicije autobusa s kosim prilazom

3. Tehnički opis

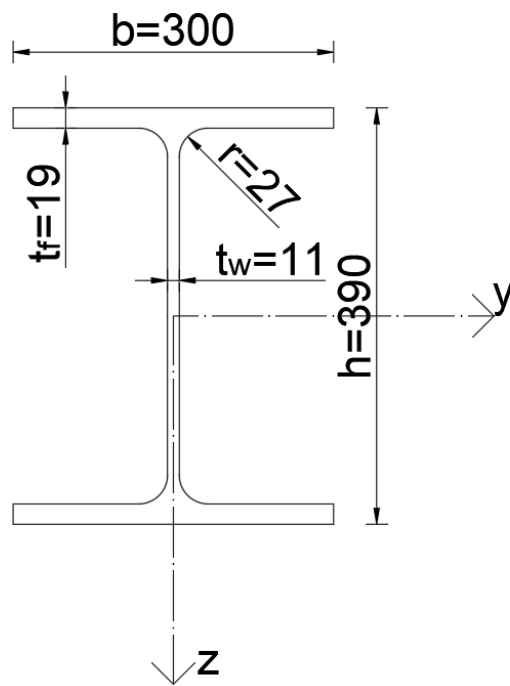
Konstrukcija je čelična nadstrešnica za autobusna vozila sa solarnim panelima. Sastoji se od 8 glavnih nosača na osnovnom razmaku od 7,0 m. Krov je izveden kao višerasponski jednostrešni krov s optimalnim nagibom krovne plohe od 18,7°. Visina konstrukcije je prilagođena za prolaz standardnih autobusa i autobusa na kat. Konstrukcija se nalazi na području grada Opatije na nadmorskoj visini od 100 m. Glavnu konstrukciju čine glavni vertikalni stupovi poprečnog profila HEA 700 i HEA 400, glavni nosači promjenjivih visina i sekundarni nosači poprečnog profila IPE 360. Svi elementi konstrukcije izrađeni su od kvalitete čelika S275. Na konstrukciju djeluje stalno djelovanje, te djelovanje snijegom i vjetrom. Djelovanje snijega i vjetra određeno je u skladu s europskim normama i pripadajućim nacionalnim dodacima za RH.



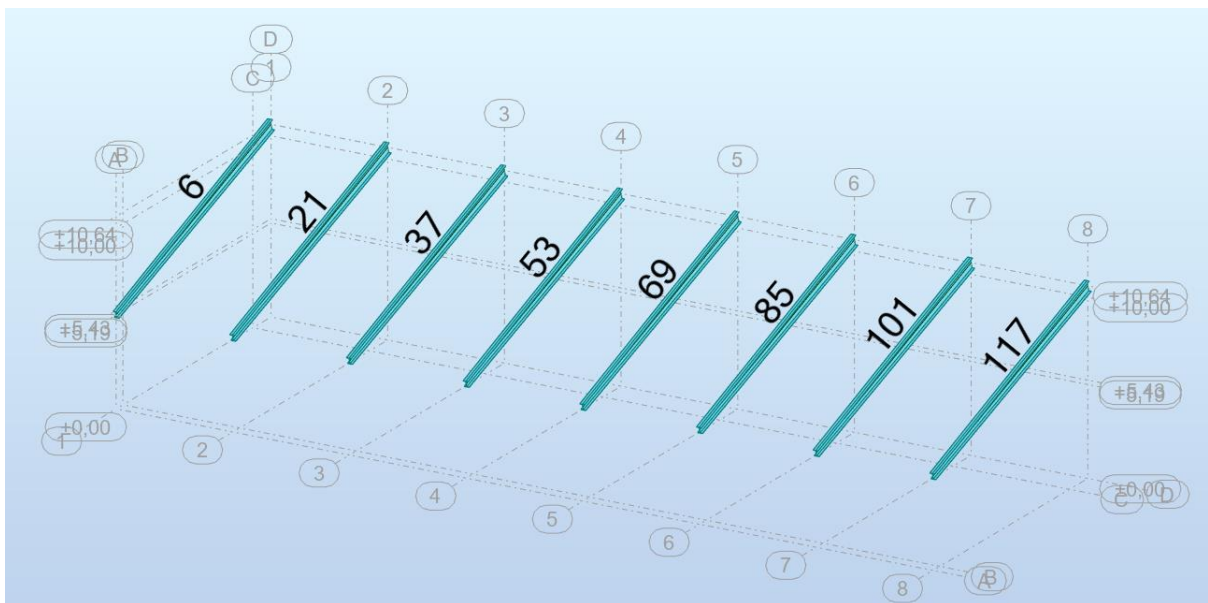
Slika 5: Numeracija stupova



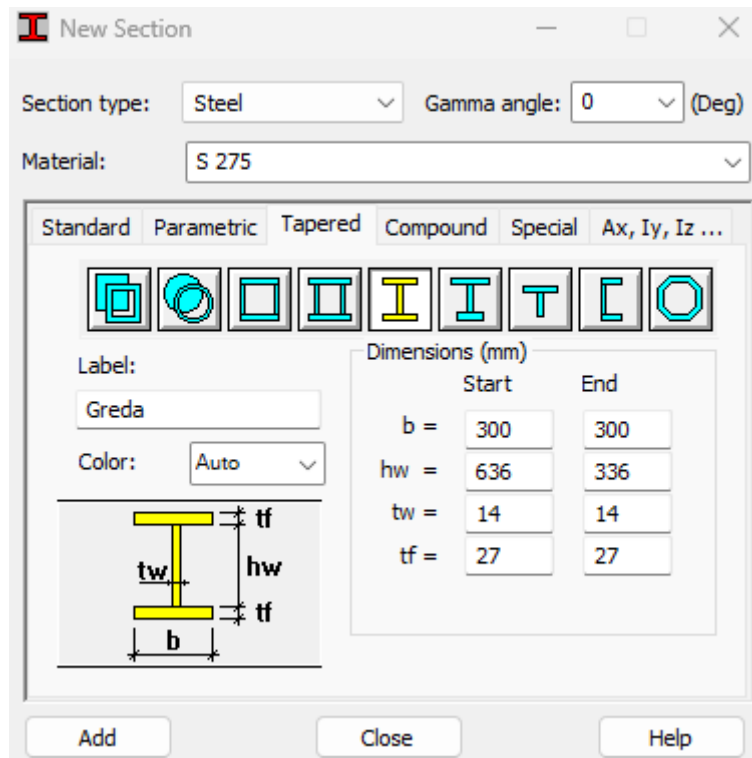
Slika 6: Poprečni presjek stupa HEA 700



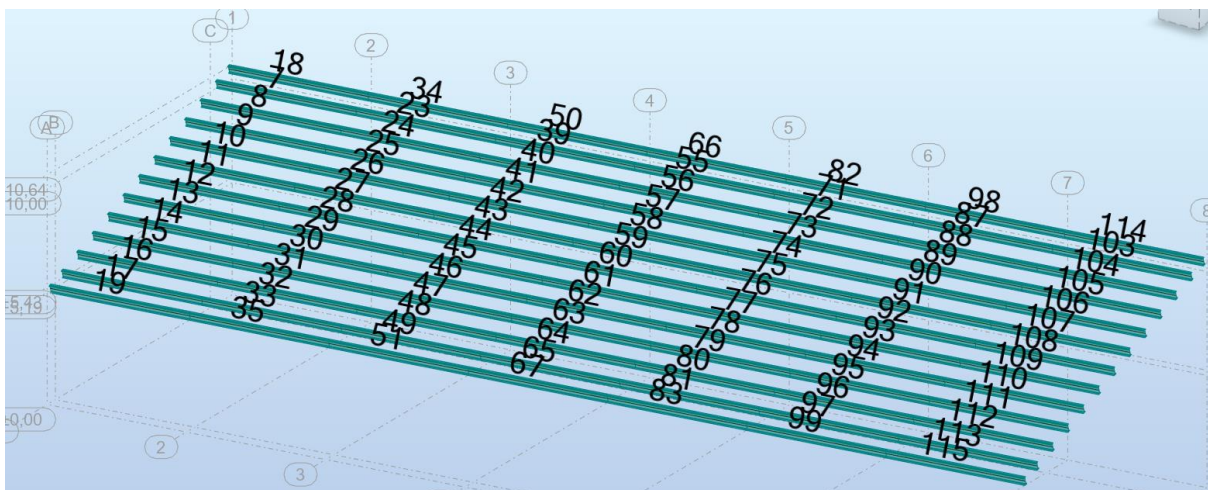
Slika 7: Poprečni presjek stupa HEA 400



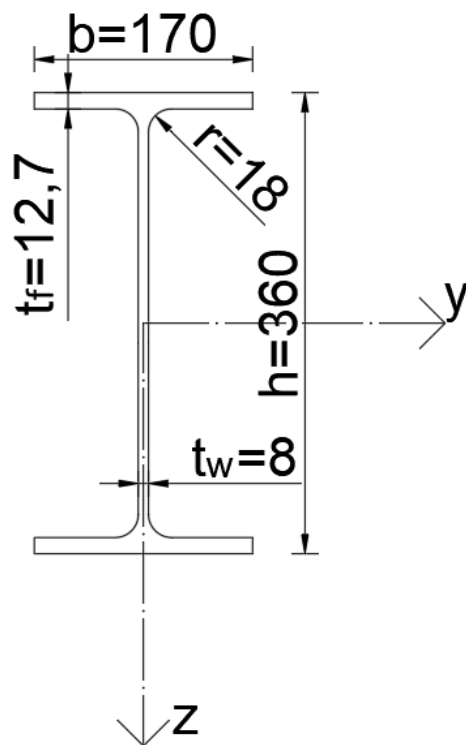
Slika 8: Numeracija greda



Slika 9: Prikaz poprečnog presjeka grede



Slika 10: Numeracija podrožnica



Slika 11: Poprečni presjek podrožnica IPE 360

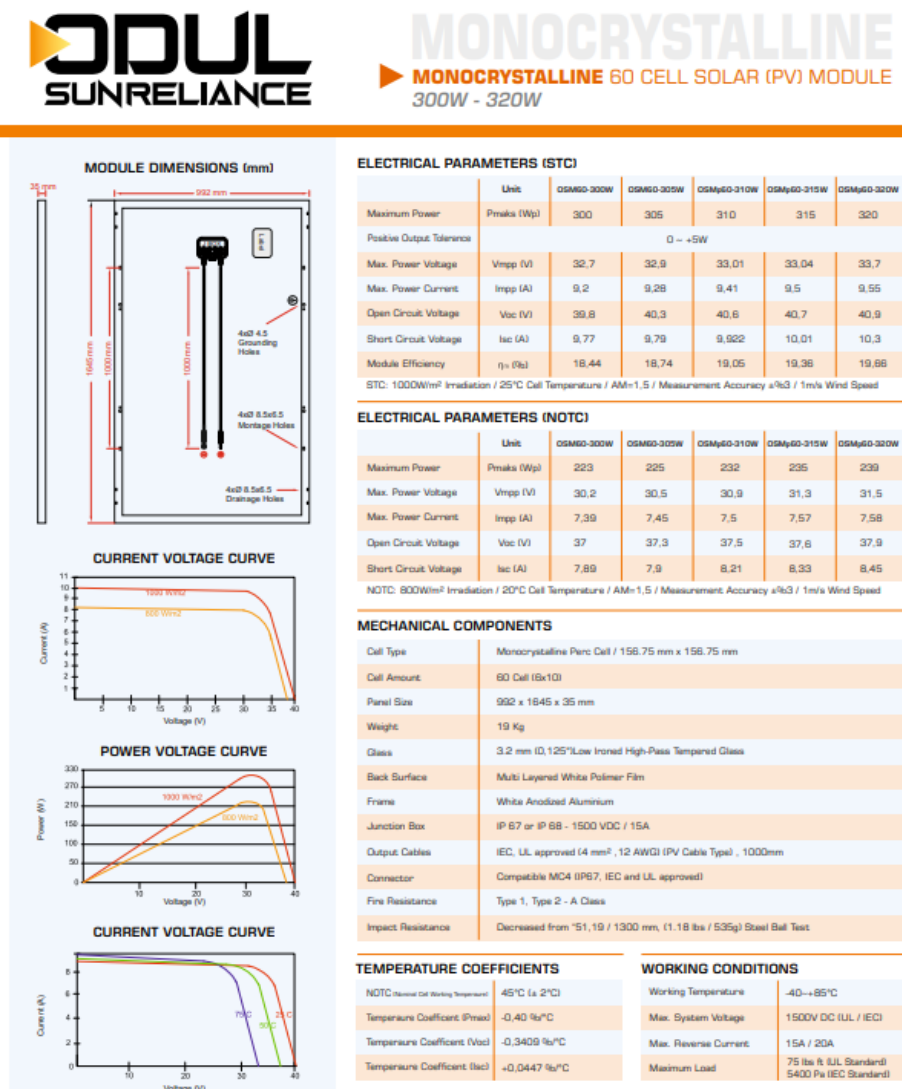
4. Analiza djelovanja

4.1. Stalno djelovanje

Stalna djelovanja koja djeluju na konstrukciju su težina solarnih panela i vlastita težina konstrukcije:

- Vlastita težina konstrukcije uračunata je u programu Robot Structural Analysis naredbom: *selfweight*
- Težina solarnih panela: $g_k = 0,19 \text{ kN/m}^2$

Odabrani su solarni paneli proizvođača ODUL SUN RELIANCE. Dimenzije solarnih panela su $1645 \times 992 \times 35 \text{ [mm]}$.



Slika 12: Katalog odabranih solarnih panela [10]

4.2. Promjenjivo djelovanje

4.2.1. Djelovanje snijega

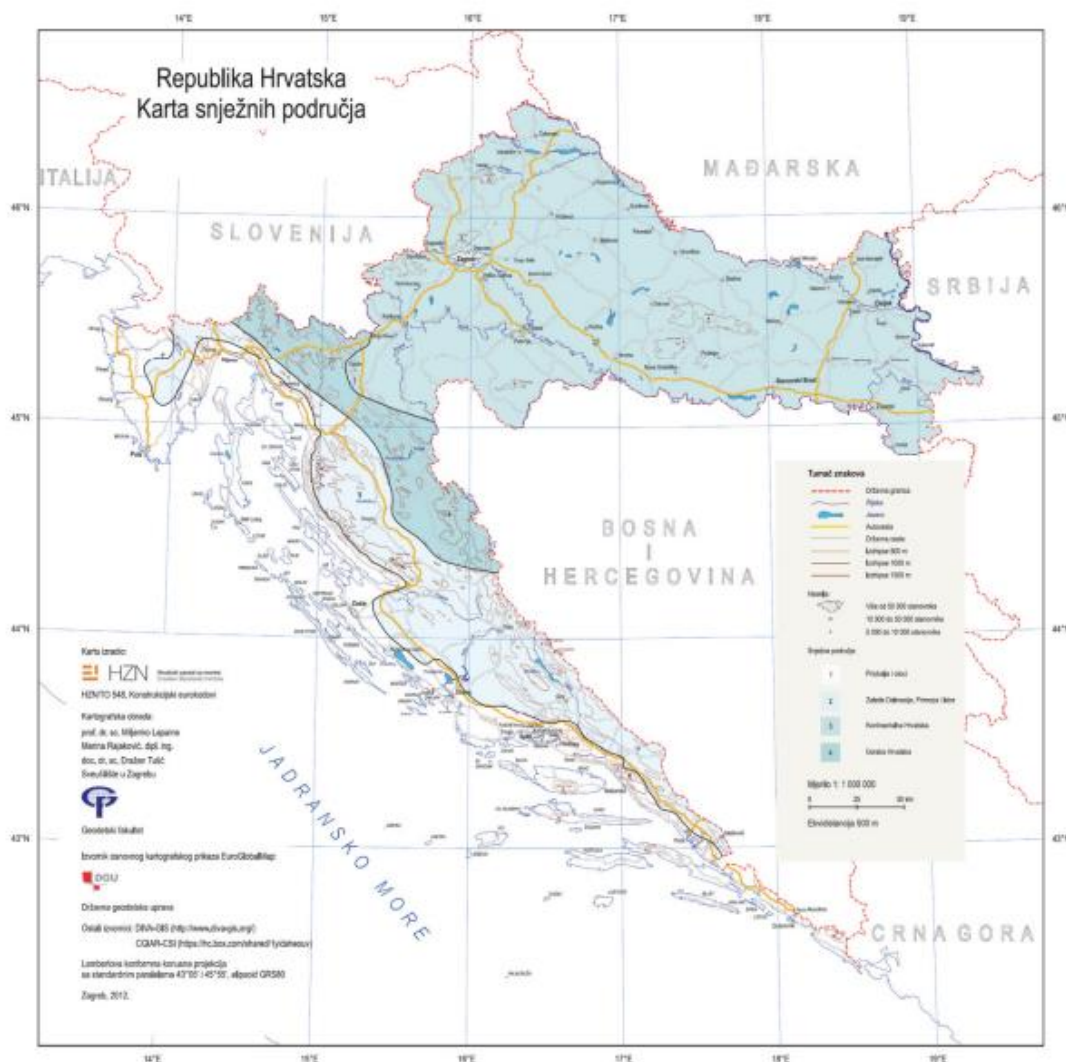
Djelovanje snijega je određeno u skladu s europskom normom HRN EN 1991-1-3:2012 te nacionalnim dodatkom HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016.

Opterećenje snijega računamo primjenom formule: $s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$

Gdje je:

- s_k – karakteristična vrijednost proračunskog opterećenja snijega na tlu ($s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$)
- μ_i – koeficijent oblika opterećenja snijegom
- C_e – koeficijent izloženosti ($C_e = 1,0$)
- C_t – toplinski koeficijent ($C_t = 1,0$)

Konstrukcija se nalazi na području Republike Hrvatske, odnosno grada Opatija (1. područje – priobalje i otoci), na nadmorskoj visini do 100 m.



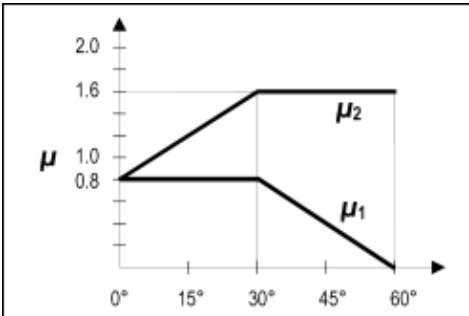
Slika 13: Karta snježnih područja

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00
1300	5,00	7,00		7,00
1400	6,00	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		

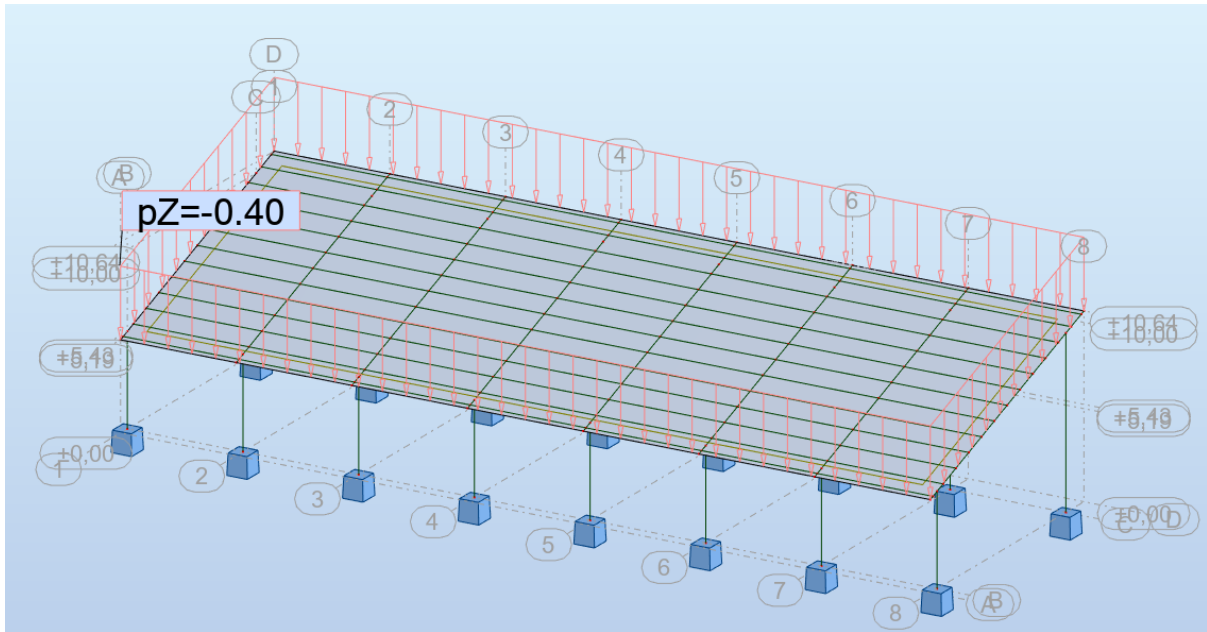
Prema normi HRN EN 1991-1-3-2012 i uvjetu $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, za nagib krova nadstrešnice od $18,7^\circ$, koeficijent oblika opterećenja snijegom: $\mu_i = 0,8$.

Tablica 2: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom

	Kut nagiba krova α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
	μ_1	0,8	$0,8 \frac{60 - \alpha}{30}$	0,0
	μ_2	$0,8 + 0,8 \frac{\alpha}{30}$	1,6	-

Proračun djelovanja snijega na krovu:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$



Slika 14: Opterećenje snijega

4.2.2. Djelovanje vjetra

Djelovanje vjetra je određeno u skladu s europskom normom HRN EN 1991-1-4:2012 te nacionalnim dodatkom HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012.

Osnovna brzina:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0}$$

$v_{b,0}$ – temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra, $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

c_{dir} – faktor smjera, $c_{dir} = 1,0$

c_{season} – faktor godišnjeg doba, $c_{season} = 1,0$

$$v_b = 1,0 \times 1,0 \times 25 = 25 \text{ m/s}$$



Slika 15: Osnovna brzina $v_{b,0}$

Tablica 3: Kategorije terena i parametri terena

Kategorija terena		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezerca ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

Kategorija terena 0 → $z_0 = 0,003$ m; $z_{\min} = 1$ m; $z_{0,II} = 0,05$ m; $z_{\max} = 200$ m

z_0 – duljina hrapavosti

$z_{0,II}$ – duljina hrapavosti za 2. kategoriju

Faktor terena ovisan o duljini hrapavosti:

$$k_r = 0,19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,003}{0,05} \right)^{0,07} = 0,156$$

Faktor hrapavosti:

$$c_r(z) = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} = 0,156 \times \ln \frac{10,97}{0,003} = 1,28$$

z_0 – duljina hrapavosti

k_r – faktor terena

z – visina vrha čelične konstrukcije

Srednja brzina vjetra:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,28 \times 1,0 \times 25,0 = 32,0 \text{ m/s}$$

$c_r(z)$ – faktor hrapavosti

$c_0(z)$ – faktor vertikalne razvedenosti terena

v_b – osnovna duljina vjetra

Intenzitet turbulencije $I_v(z)$:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \times \ln \left(\frac{10,97}{0,003} \right)} = 0,121$$

k_1 – faktor turbulencije

$c_0(z)$ – faktor vertikalne razvedenosti terena

z_0 – duljina hrapavosti

z – visina vrha čelične konstrukcije

Tlak pri vršnoj brzini:

$$q_p(z) = (1 + 7 \times I_v(z)) \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m(z)^2 = (1 + 7 \times 0,121) \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 32,0^2 = 1,182 \text{ kN/m}^2$$

$I_v(z)$ – intenzitet turbulencije

ρ – gustoća zraka

$v_m(z)$ – srednja brzina vjetra

Tlak pri osnovnoj brzini:

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

ρ – gustoća zraka

v_b – osnovna brzina vjetra

Faktor izloženosti:

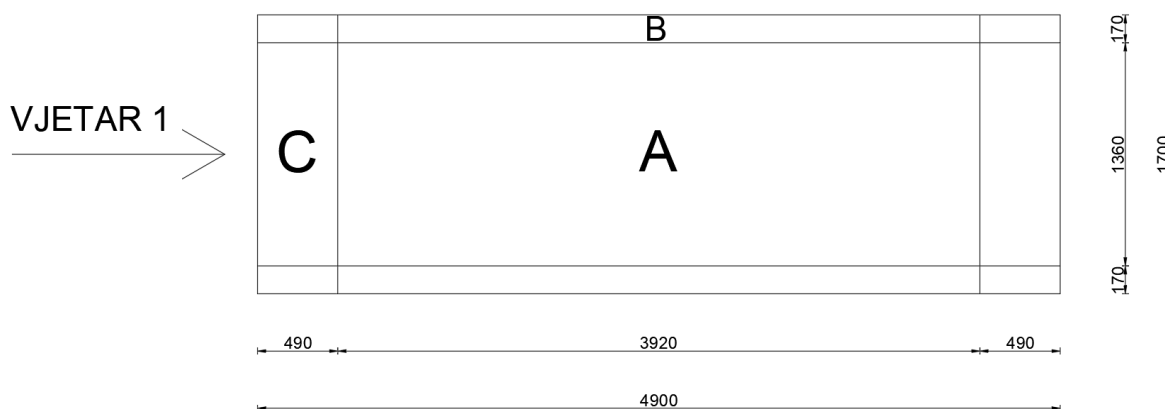
$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{1,182}{0,39} = 3,031$$

$q_p(z)$ – tlak pri vršnoj brzini

q_b – tlak pri osnovnoj brzini

Proračun koeficijenta vanjskog tlaka na krov jednostrešne nadstrešnice:

Slučaj 1:



Slika 16: Opterećenja po zonama za slučaj 1

Površine vjetrovnih zona iznose:

$$P_A = 39,20 \times 13,60 = 533,12 \text{ m}^2$$

$$P_B = 49,0 \times 1,70 = 83,30 \text{ m}^2$$

$$P_C = 4,90 \times 17,0 = 83,30 \text{ m}^2$$

Za vrijednost kuta $\alpha = 18,7^\circ$ linearnom interpolacijom očitavamo:

Najveća vrijednost, svi $\rho \rightarrow C_f = +0,77$; zona A = +1,62; zona B = +2,85; zona C = +2,02

Najmanja vrijednost, $\rho = 0$ (vjetar slobodno prolazi) $\rightarrow C_f = -1,25$; zona A = -2,10; zona B = -2,70; zona C = -2,80

Vjetar djeluje kao pritisak:

$$C_f = +0,77$$

ZONA	POVRŠINA [m ²]	q _p (z) [kN/m ²]	C _{p,net}	w _e [kN/m ²]
A	553,12	1,182	1,62	1,915
B	83,3	1,182	2,85	3,369
C	83,3	1,182	2,02	2,388

Vjetar djeluje kao usis:

$$C_f = -1,25$$

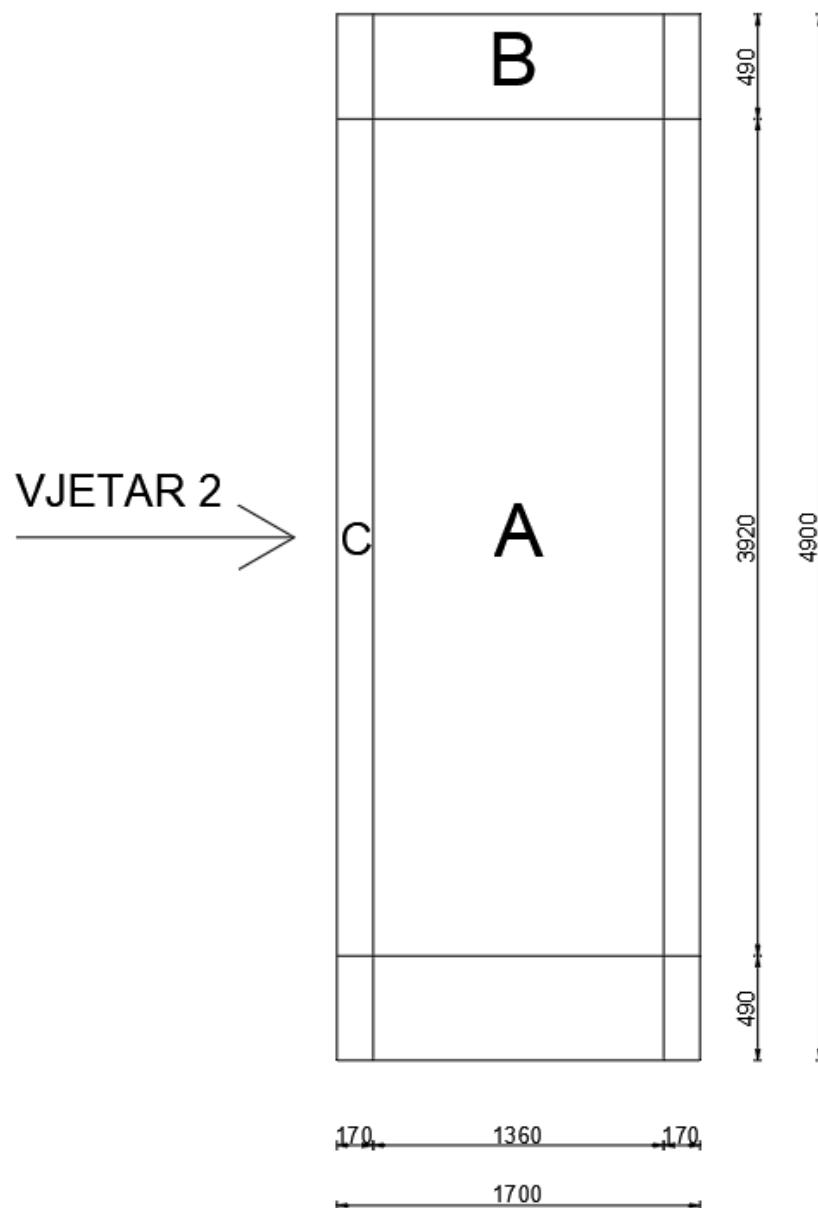
ZONA	POVRŠINA [m ²]	q _p (z) [kN/m ²]	C _{p,net}	w _e [kN/m ²]
A	553,12	1,182	-2,1	-2,482
B	83,3	1,182	-2,7	-3,191
C	83,3	1,182	-2,8	-3,31

Tablica 4: Vrijednosti koeficijenta za jednostrešne nadstrešnice

		Koeficijenti neto tlaka c _{p,net} tlocrt			
Nagib krova α	Zapriječenost φ	Koeficijenti sveukupne sile c _f	Područje A	Područje B	Područje C
0°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,4	AC - 1,6 AC	- 2,6	- 2,7
15°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Najmanja vrijednost, φ = 0	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Najmanja vrijednost, φ = 1	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7

NAPOMENA: + vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema dolje
 - vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema gore

Slučaj 2:



Slika 17: Opterećenja po zonama za slučaj 2

Površine vjetrovnih zona iznose:

$$P_A = 39,20 \times 13,60 = 533,12 \text{ m}^2$$

$$P_B = 4,90 \times 17,0 = 83,30 \text{ m}^2$$

$$P_C = 49,0 \times 1,70 = 83,30 \text{ m}^2$$

Za vrijednost kuta $\alpha = 18,7^\circ$ linearnom interpolacijom očitavamo:

Najveća vrijednost, svi $\rho \rightarrow C_f = +0,77$; zona A = +1,62; zona B = +2,85; zona C = +2,02

Najmanja vrijednost, $\rho = 0$ (vjetar slobodno prolazi) $\rightarrow C_f = -1,25$; zona A = -2,10; zona B = -2,70; zona C = -2,80

Vjetar djeluje kao pritisak:

$C_f = +0,77$

ZONA	POVRŠINA [m ²]	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{p,net}$	w_e [kN/m ²]
A	553,12	1,182	1,62	1,915
B	83,3	1,182	2,85	3,369
C	83,3	1,182	2,02	2,388

Vjetar djeluje kao usis:

$C_f = -1,25$

ZONA	POVRŠINA [m ²]	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{p,net}$	w_e [kN/m ²]
A	553,12	1,182	-2,1	-2,482
B	83,3	1,182	-2,7	-3,191
C	83,3	1,182	-2,8	-3,31

U oba slučaja dobijemo iste rezultate tako da uzimamo samo slučaj 1 kao mjerodavni!

5. Kombinacije djelovanja

Kombinacije djelovanja definirane su za granično stanje nosivosti (GSN) i granično stanje uporabljivosti (GSU) pomoću programa Robot Structural Analysis.

Parcijalni faktori sigurnosti za granično stanje nosivosti:

- $\gamma_G = 1,00$ za povoljno djelovanja
- $\gamma_G = 1,35$ za nepovoljno djelovanja
- $\gamma_Q = 0,00$ za povoljno djelovanja
- $\gamma_Q = 1,50$ za nepovoljno djelovanja

Parcijalni faktori sigurnosti za granično stanje uporabljivost:

- $\gamma_G = 1,00$ za povoljno djelovanja
- $\gamma_G = 1,00$ za nepovoljno djelovanja
- $\gamma_Q = 0,00$ za povoljno djelovanja
- $\gamma_Q = 1,00$ za nepovoljno djelovanja

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
5 (C)	VT+SN	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+2*1.50$
6 (C)	VT+V1	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+3*1.50$
7 (C)	VT+V2	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+4*1.50$
8 (C)	VT+SN+V1	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+2*1.50+3*0.90$
9 (C)	VT+SN+V2	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+2*1.50+4*0.90$
10 (C)	VT+V1+SN	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+3*1.50+2*0.75$
11 (C)	VT+V2+SN	Linear Combinati	ULS	Structural	$1*1.35+4*1.50+2*0.75$
12 (C)	VT+SN	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2)*1.00$
13 (C)	VT+V1	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+3)*1.00$
14 (C)	VT+V2	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+4)*1.00$
15 (C)	VT+SN+V1	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2)*1.00+3*0.60$
16 (C)	VT+SN+V2	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2)*1.00+4*0.60$
17 (C)	VT+V1+SN	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+3)*1.00+2*0.50$
18 (C)	VT+V2+SN	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+4)*1.00+2*0.50$

Slika 18: Kombinacija djelovanja

Lista kombinacija djelovanja:

Granično stanje nosivosti

Kombinacija 1: stalno + snijeg

Kombinacija 2: stalno + vjetar (pritisak)

Kombinacija 3: stalno + vjetar (usis)

Kombinacija 4: stalno + snijeg + vjetar (pritisak)

Kombinacija 5: stalno + snijeg + vjetar (usis)

Kombinacija 6: stalno + vjetar (pritisak) + snijeg

Kombinacija 7: stalno + vjetar (usis) + snijeg

Granično stanje uporabljivosti

Kombinacija 8: stalno + snijeg

Kombinacija 9: stalno + snijeg

Kombinacija 10: stalno + vjetar (pritisak)

Kombinacija 11: stalno + vjetar (usis)

Kombinacija 12: stalno + snijeg + vjetar (pritisak)

Kombinacija 13: stalno + snijeg + vjetar (usis)

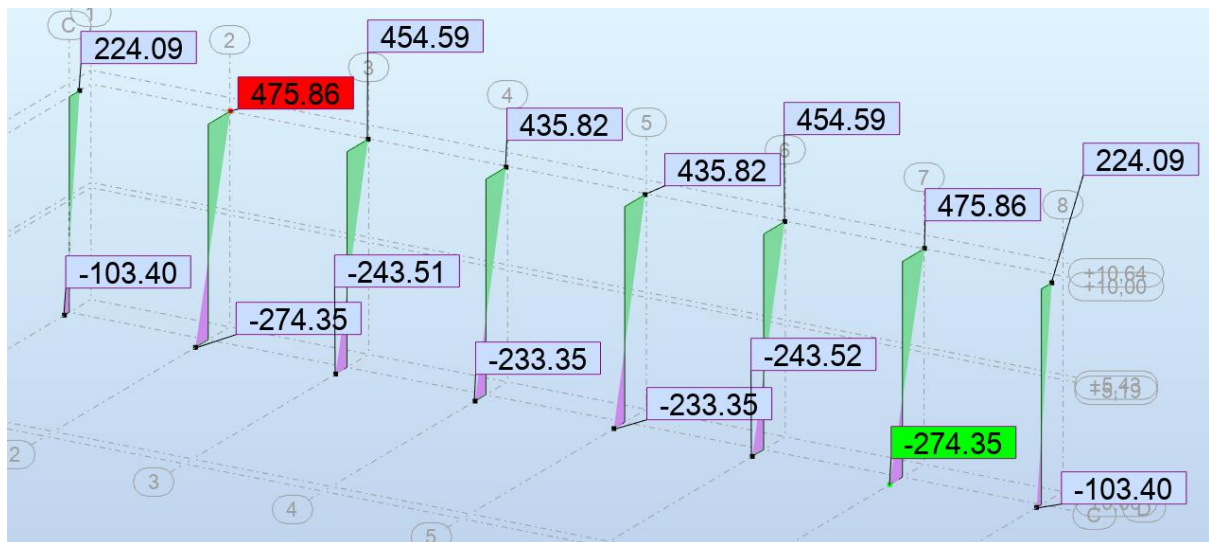
Kombinacija 14: stalno + vjetar (pritisak) + snijeg

Kombinacija 15: stalno + vjetar (usis) + snijeg

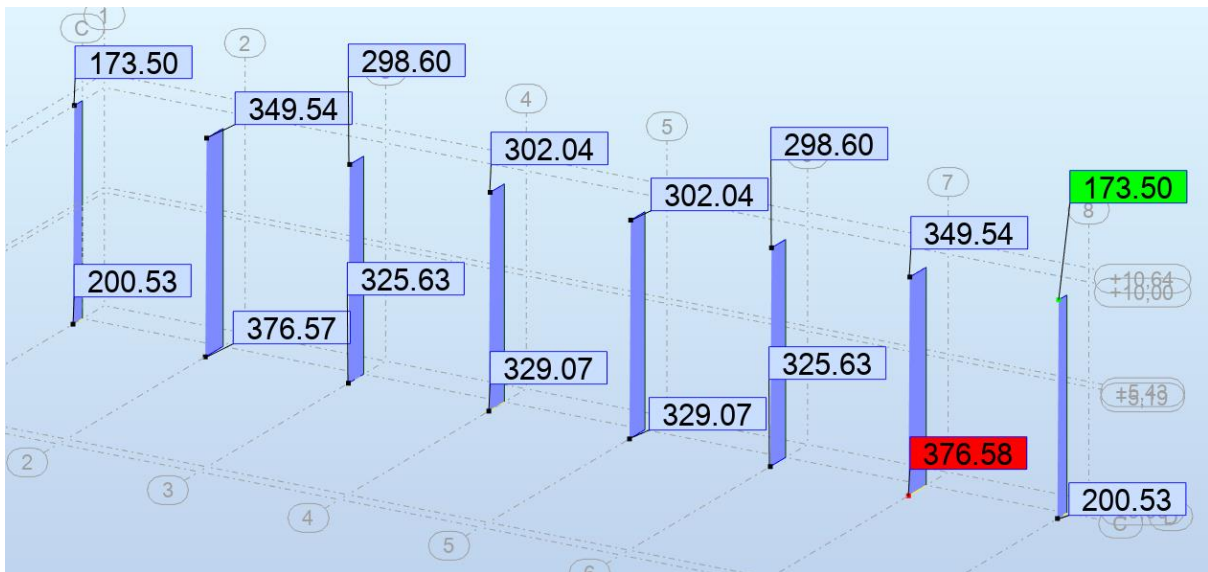
6. Statički proračun

Statički proračun sila proveden je u programu Robot Structural Analysis Professional.

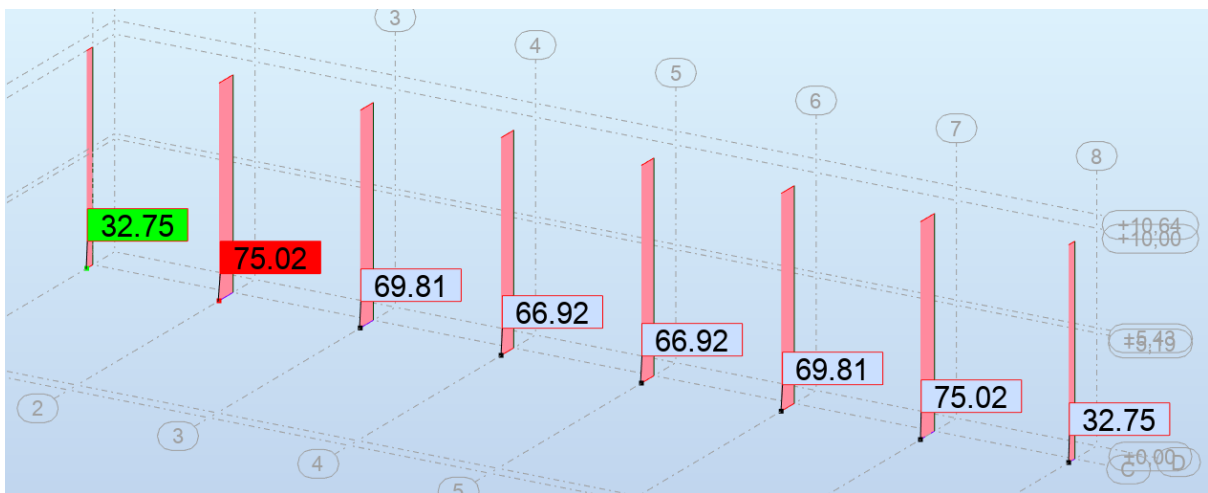
6.1. Dijagrami unutarnjih sila za stupove HEA 700



Slika 19: Dijagrami momenta savijanja stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

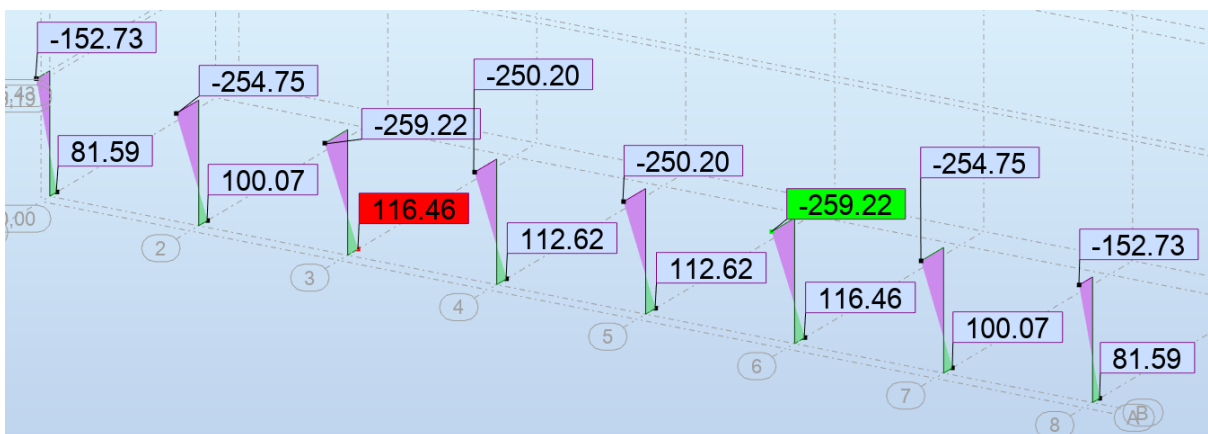


Slika 20: Dijagrami uzdužnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

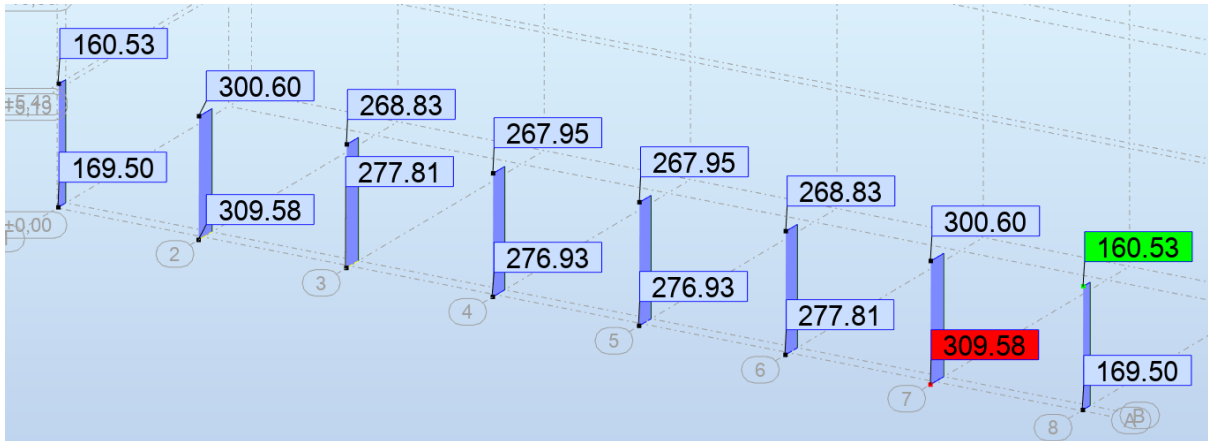


Slika 21: Dijagrami poprečnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

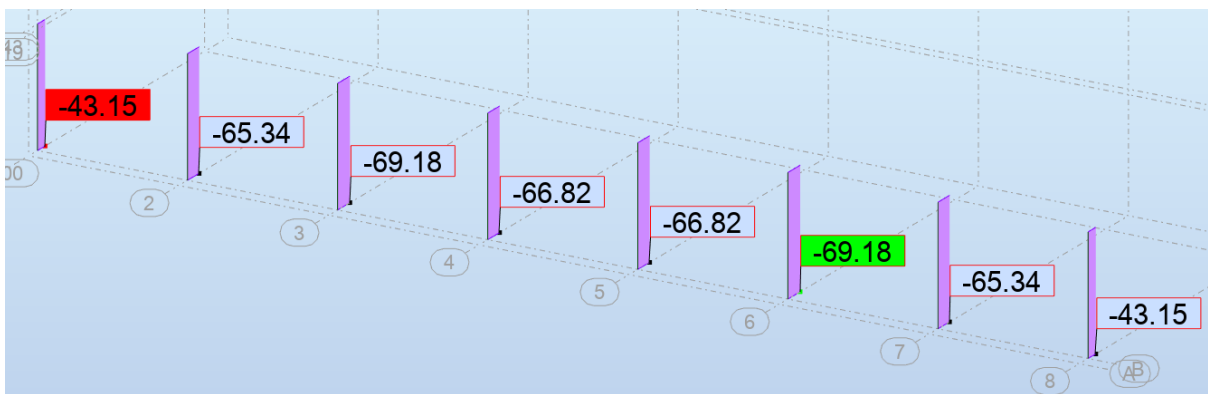
6.2. Dijagrami unutarnjih sila za stupove HEA 400



Slika 22: Dijagrami momenta savijanja stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

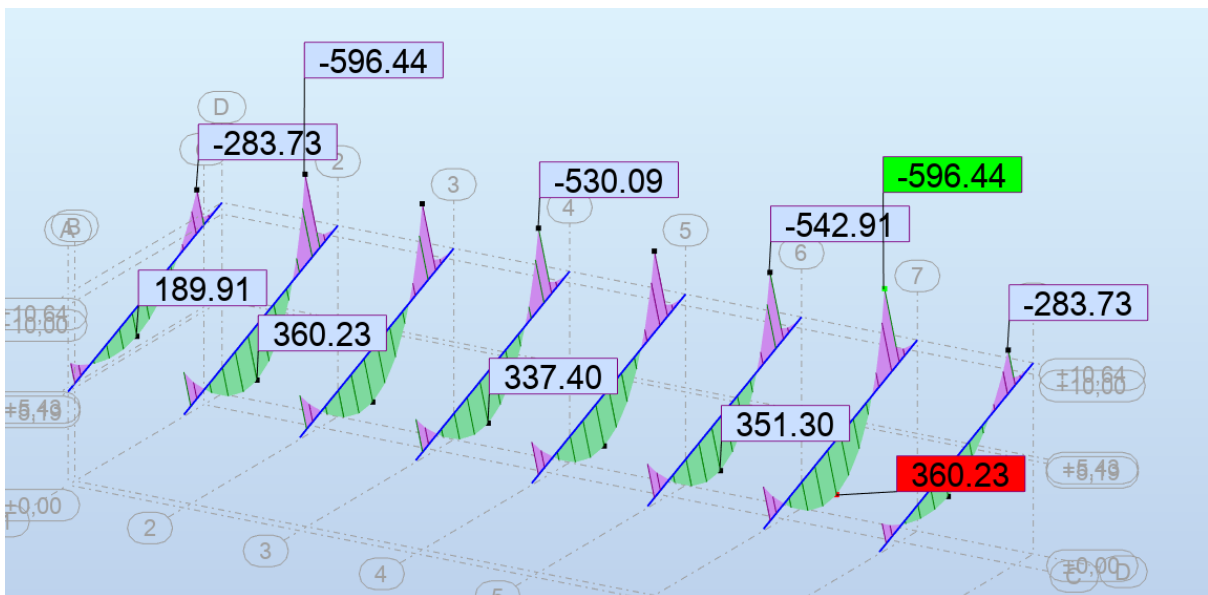


Slika 23: Dijagrami uzdužnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

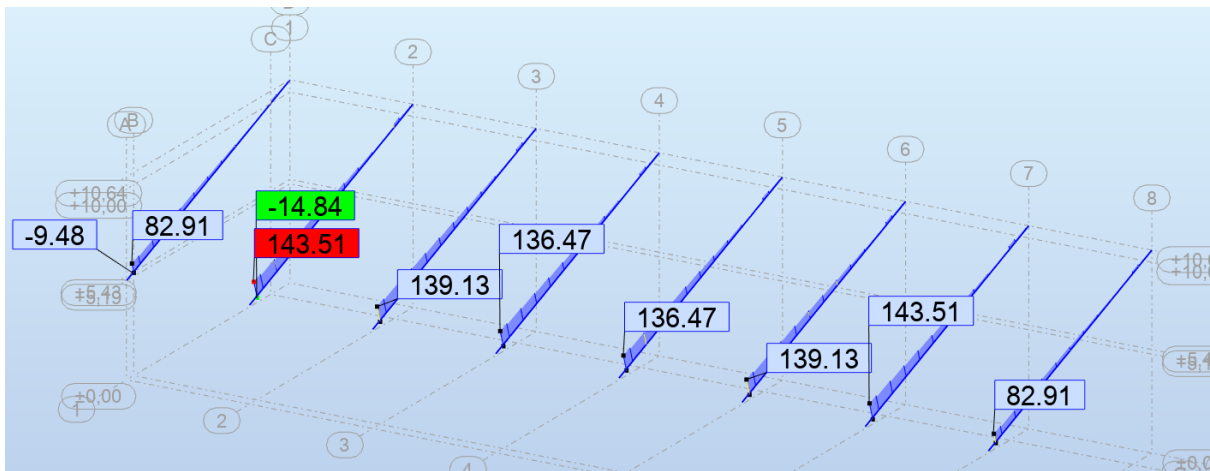


Slika 24: Dijagrami poprečnih sila stupova za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

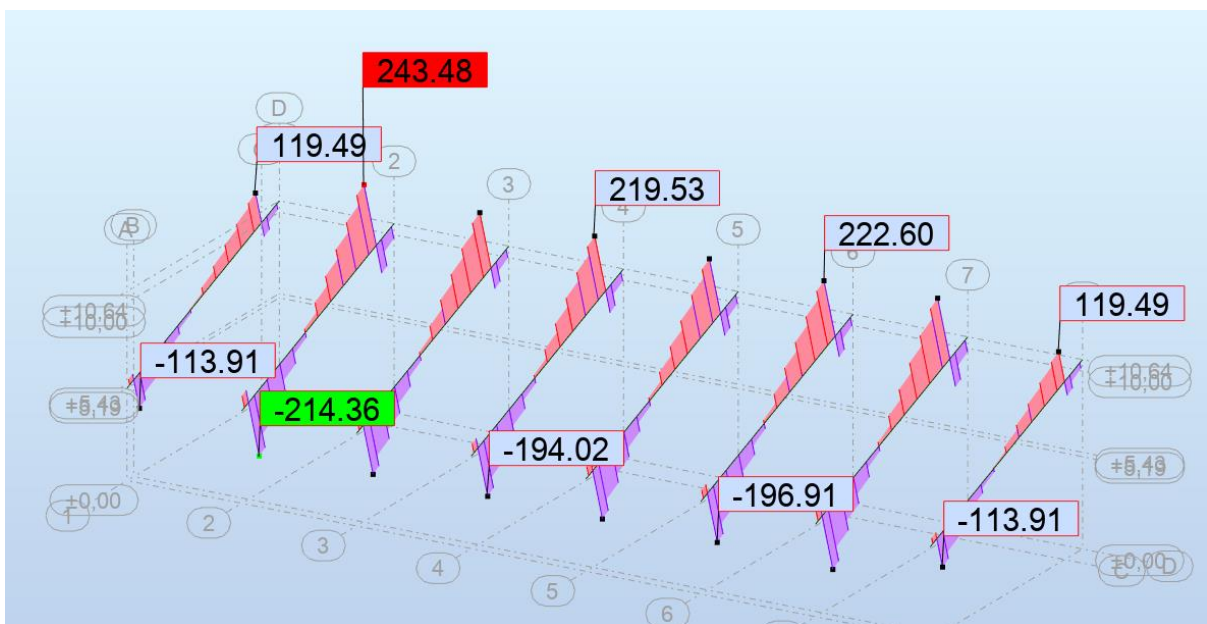
6.3. Dijagrami unutarnjih sila za gredu



Slika 25: Dijagrami momenta savijanja greda za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

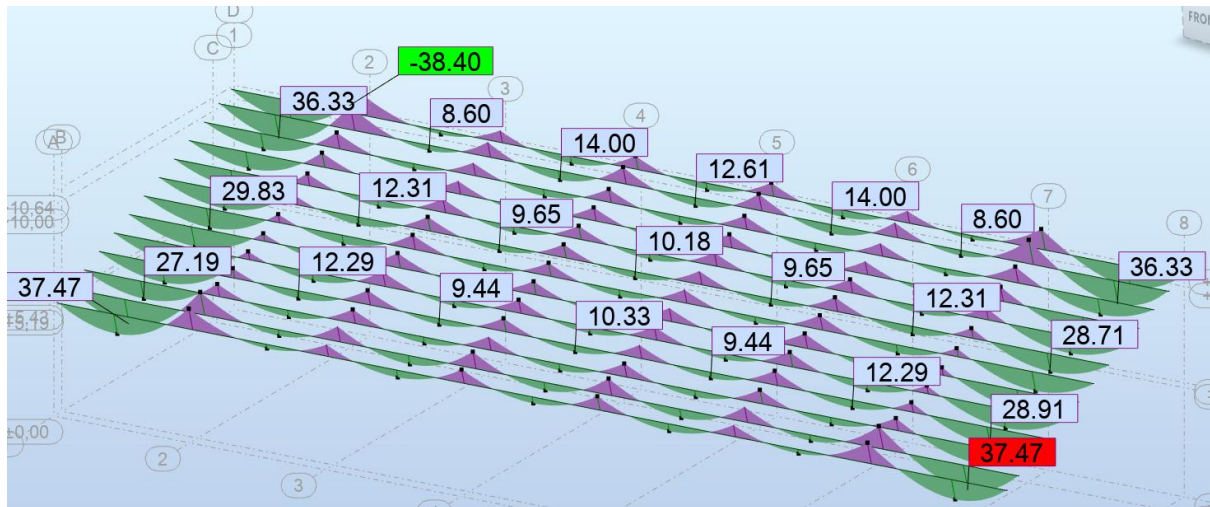


Slika 26: Dijagrami uzdužnih sila greda za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

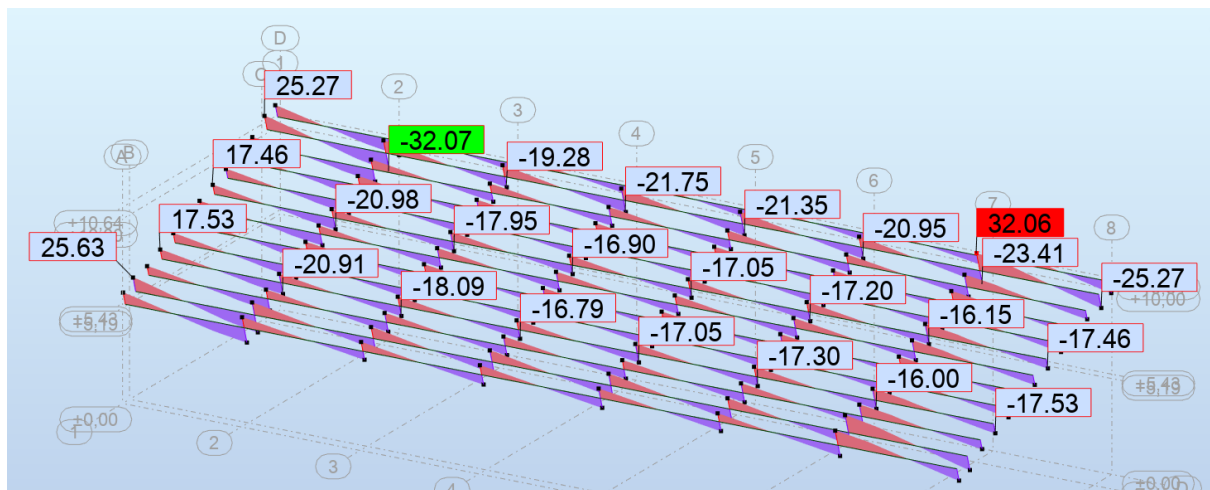


Slika 27: Dijagrami poprečnih sila greda za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

6.4. Dijagrami unutarnjih sila za podrožnice



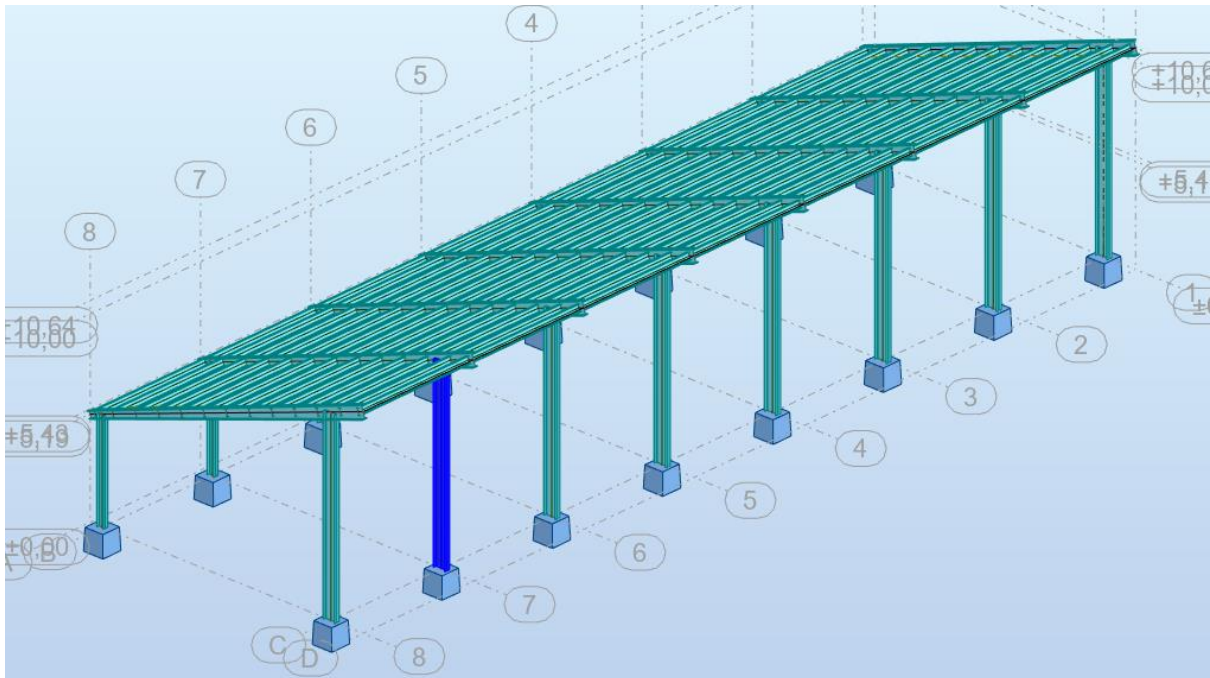
Slika 28: Dijagrami momenta savijanja podrožnica za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti



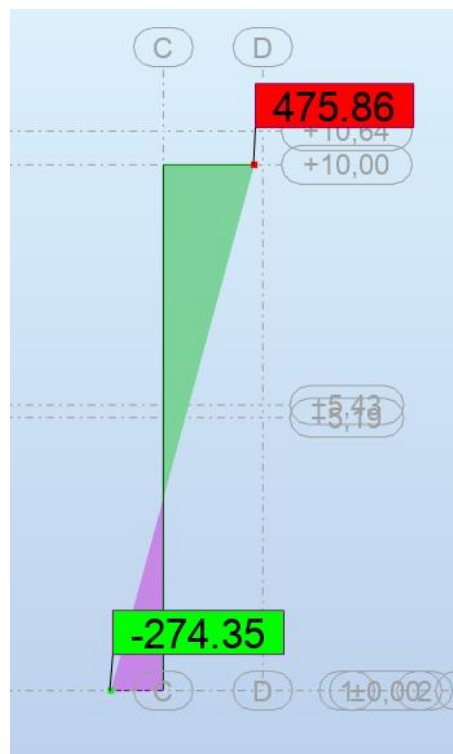
Slika 29: Dijagrami poprečnih sila podrožnice za kombinaciju 6 graničnog stanja nosivosti

7. Dimenzioniranje glavnih elemenata konstrukcije za granično stanje nosivosti

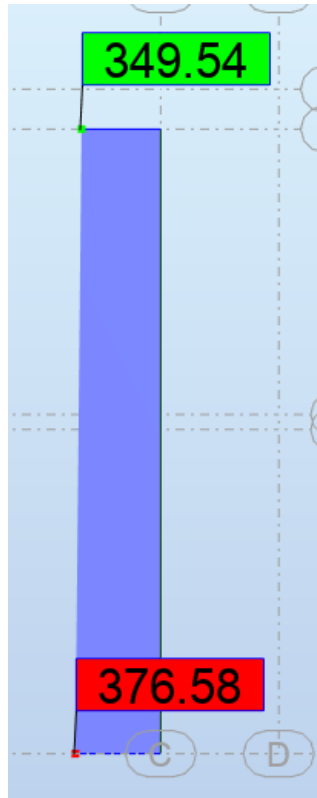
7.1. Dimenzioniranje stupa HEA 700



Slika 30: Položaj najopterećenijeg stupa



Slika 31: Dijagram momenta savijanja stupa za kombinaciju 6

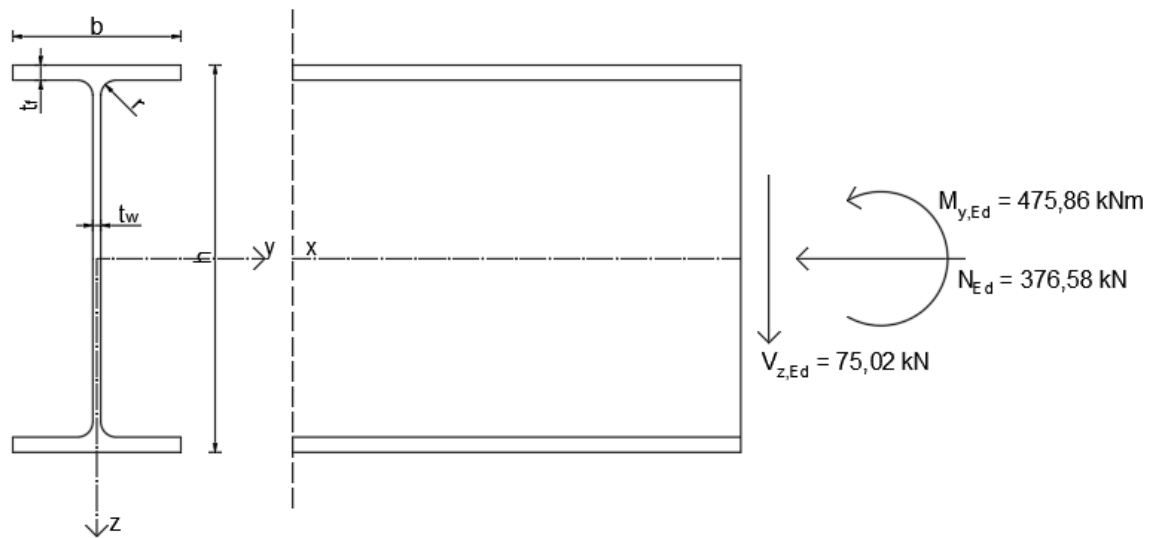


Slika 32: Dijagram uzdužnih sila stupa za kombinaciju 6



Slika 33: Dijagram poprečnih sila stupa za kombinaciju 6

Otpornost poprečnog presjeka



Slika 34: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	690	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14,5	mm
r	27	mm
A	260,5	cm ²
I _y	215300	cm ⁴
I _z	12179	cm ⁴
W _{pl,y}	7032,95	cm ³
I _t	522,8	cm ⁴
I _w	13223000	cm ⁶
Karakteristike čelika S275		
E	210 000	N/mm ²
G	80 770	N/mm ²
ν	0,3	
ρ	7850	kg/m ³
f _y	275	N/mm ²
f _u	430	N/mm ²

Tablica 5: Klasifikacija unutrašnjih tlačnih elemenata

unutrašnji tlačni elementi			
klasa	savijanje	tlak	savijanje i tlak
	$\frac{c}{t} \leq 72\epsilon$	$\frac{c}{t} \leq 33\epsilon$	za $\alpha > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ za $\alpha \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$
	$\frac{c}{t} \leq 83\epsilon$	$\frac{c}{t} \leq 38\epsilon$	za $\alpha > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ za $\alpha \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$
	$\frac{c}{t} \leq 124\epsilon$	$\frac{c}{t} \leq 42\epsilon$	za $\psi > -1$: $\frac{c}{t} \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ za $\psi \leq -1$: $\frac{c}{t} \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$
$\psi \leq -1$ primjenjuje se u slučajevima kada je tlačno naprezanje $\sigma \leq f_y$ ili kada je vlačna deformacija $\epsilon_s > f_y/E$			

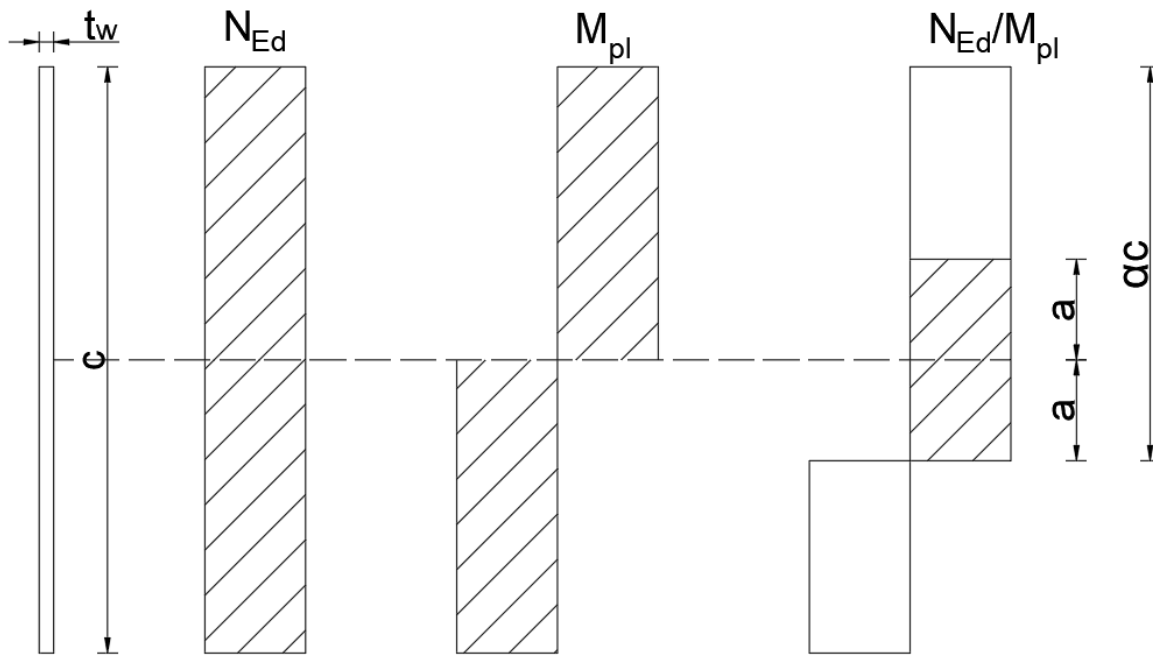
Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta:

Unutarnji element, izložen savijanju i tlaku

Uvjet za klasu 1:

$$N_{Ed} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{(2a \times t_w) \times f_y}{\gamma_{MO}}$$



Slika 35: Proračun α iz položaja nul-linije

$$\rightarrow a = \frac{N_{Ed} \times \gamma_{MO}}{2 \times t_w \times f_y} = \frac{376,58 \times 1,0}{2 \times 1,45 \times 27,5} = 4,722 \text{ cm}$$

$$c = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 690 - 2 \times 27 - 2 \times 27 = 582 \text{ mm} = 58,2 \text{ cm}$$

$$\alpha c = \frac{c}{2} + a \rightarrow \alpha = \frac{\frac{c}{2} + a}{c} = \frac{\frac{58,2}{2} + 4,722}{58,2} = 0,581$$

za $\alpha > 0,5$:

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \varepsilon}{13 \alpha - 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{582}{14,5} \leq \frac{396 \times 0,924}{13 \times 0,581 - 1}$$

40,138 < 60,390 \rightarrow Hrbat je klase 1

Provjera pojasnice:

Vanjski element, izložen tlaku

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9 \varepsilon$$

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{300}{2} - \frac{14,5}{2} - 27 = 115,75 \text{ mm}$$

$$\frac{115,75}{27} \leq 9 \times 0,924$$

4,287 < 8,316 → Pojasnica je klase 1

POPREČNI PRESJEK JE KLASJE 1

Tablica 6: Klasifikacija vanjskih tlačnih elemenata

vanjski tlačni elementi			
valjani profili		zavareni profili	
klasa	tlak	savijanje i tlak	
		rub u tlaku	rub u vlaku
raspodjela naprezanja po elementu (tlak pozitivan)			
1	$\frac{c}{t} \leq 9e$	$\frac{c}{t} \leq \frac{9e}{\alpha}$	$\frac{c}{t} \leq \frac{9e}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$\frac{c}{t} \leq 10e$	$\frac{c}{t} \leq \frac{10e}{\alpha}$	$\frac{c}{t} \leq \frac{10e}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
raspodjela naprezanja po elementu (tlak pozitivan)			
3	$\frac{c}{t} \leq 14e$	$\frac{c}{t} \leq 21e\sqrt{k_\sigma}$	

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Za klasu 1

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{7032,95 \times 27,5}{1,0} = 193406,125 \text{ kNcm} = 1934,061 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

475,86 kNm < 1934,061 kNm → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{475,86}{1934,061} = 0,25 < 1 \text{ (25\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}, \eta - \text{faktor posmične površine, iznosi 1,2 za valjane profile}$$

$$\frac{h-2 \times t_f}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{690-2 \times 27}{14,5} \leq 72 \frac{0,924}{1,2}$$

43,862 < 55,44 → Nema izbočivanje hrpta!

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_V \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\gamma_{MO}}$$

Posmična površina A_V :

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

$$A_{V,z} = 260,5 - 2 \times 30 \times 2,7 + (1,45 + 2 \times 2,7) \times 2,7 \geq 1,2 \times 63,6 \times 1,45$$

$$A_{V,z} = 116,995 \text{ cm}^2 > 110,664 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 116,995 \times \frac{27,5}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{1,0} = 1857,545 \text{ kN}$$

Uvjet nosivost:

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

75,02 kN < 1857,545 kN → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{75,02}{1857,545} = 0,04 < 1 \text{ (4\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

Za klasu 1

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{260,5 \times 27,5}{1,0} = 7163,75 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

376,58 kN < 7163,75 kN → Uvjet zadovoljava!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{376,58}{7163,75} = 0,05 \text{ (5\%)}$$

Interakcija savijanja i posmika

Provjera razine poprečne sile:

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd}$$

$$75,02 < 0,5 \times 1857,545$$

$$75,02 \text{ kN} < 928,773 \text{ kN}$$

Interakcija savijanja i tlaka

Za klasu 1

Provjera razine uzdužne sile:

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

$$376,58 < 0,25 \times 7163,75$$

$$376,58 \text{ Kn} < 1790,938 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \times h_w \times t_w \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$376,58 \leq \frac{0,5 \times 63,6 \times 1,45 \times 27,5}{1,0}$$

$$376,58 \text{ kN} < 1268,025 \text{ kN}$$

→ Uvjet je zadovoljen, nije potrebno provoditi redukciju plastične otpornosti na savijanje

Otpornosti elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z}}$$

C₁, C₂ – faktori koji zavise o uvjetima na ležajima i vrsti opterećenja

Ψ – omjer momenata na krajevima

$$\Psi = \frac{-274,35}{475,86} = -0,577 \rightarrow C_1 = 2,38; C_2 = 0$$

k, k_w – faktori dužine izvijanja; $k = k_w = 1,0$

E – modul elastičnosti; $E = 21\ 000\ \text{kN/cm}^2$

G – modul posmika; $G = 8077\ \text{kN/cm}^2$

I_z – moment površine drugog stupnja oko slabije osi; $I_z = 12179\ \text{cm}^4$

I_t – torzijska krutost; $I_t = 522,8\ \text{cm}^4$

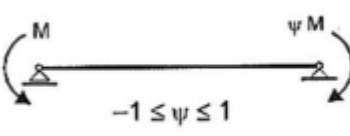
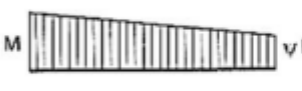
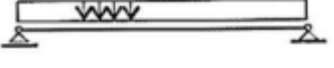

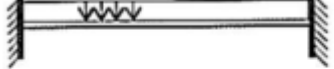

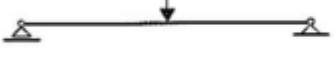

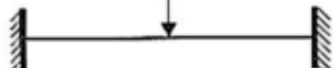

I_w – konstanta krivljenja; $I_w = 13223000\ \text{cm}^6$

L – dužina nosača između točaka bočnog pridržavanja; $L = 10\ \text{m}$

$$M_{cr} = 2,38 \frac{\pi^2 \times 21\ 000 \times 12179}{(1,0 \times 1000)^2} \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{13223000}{12179} + \frac{(1,0 \times 1000)^2 \times 8077 \times 522,8}{\pi^2 \times 21\ 000 \times 12179}}$$

$$M_{cr} = 6007,692 \times \sqrt{1085,721 + 1672,842} = 315536,143\ \text{kNcm}$$

Tablica 7: Faktori C_i za izračun kritičkog momenta bočno-torzijskog izvijanja

OPTEREĆENJE I UVJETI OSLANJANJA	DIJAGRAM MOMENATA SAVIJANJA	Vrijednost faktora		
		C_1	C_2	C_3
 $-1 \leq \psi \leq 1$		ψ		
		+1,00	1,00	1,00
		+0,75	1,14	0,99
		+0,50	1,31	0,99
		+0,25	1,52	0,98
		+0,00	1,77	0,94
		-0,25	2,05	0,85
		-0,50	2,33	0,68
		-0,75	2,57	0,37
		-1,00	2,55	0,00
		1,13	0,45	0,52
		2,57	1,55	0,75
		1,35	0,63	1,73
		1,68	1,64	2,64

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pLy} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{7032,95 \times 27,5}{315536,143}} = 0,78$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 2,3 > 2$$

Valjani I presjeci

→ krivulja izvijanja b → faktor imperfekcije $\alpha_{LT} = 0,34$

Tablica 8: Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeke

Poprečni presjek	Ograničenja	Krivulja izvijanja
Valjani I presjeci	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Zavareni I presjeci	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Ostali presjeci	-	d

Tablica 9: Faktori imperfekcije α_{LT} ovisni o krivulji izvijanja

Krivulja izvijanja	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Bočno-torzijsko izvijanje:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + 0,34(0,78 - 0,2) + 0,78^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,903$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,903 + \sqrt{0,903^2 - 0,78^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,736 < 1$$

Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Za klasu 1

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,736 \frac{7032,95 \times 27,5}{1,1} = 129406,28 \text{ kNcm} = 1294,063 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

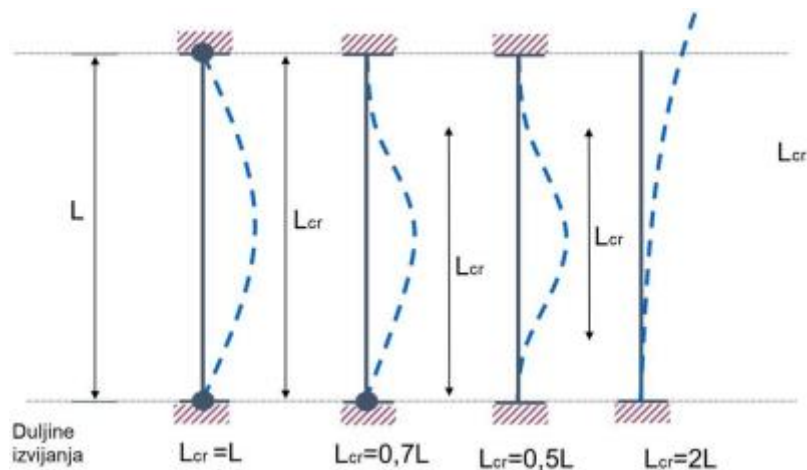
$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

$$475,86 \text{ kNm} < 1294,063 \text{ kNm}$$

Otpornost element na izvijanje

Za klasu 1

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



Slika 36: Duljine izvijanja

Duljina izvijanja je jednaka u obje osi: $l_{cr,y} = l_{cr,z} = 0,7 \times L = 0,7 \times 10 = 7 \text{ m}$

Otpornost na izvijanje oko os y-y

Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 215\,300}{700^2} = 91068,25 \text{ kN}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{260,5 \times 27,5}{91068,25}} = 0,280$$

Faktor imperfekcije:

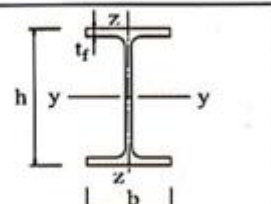
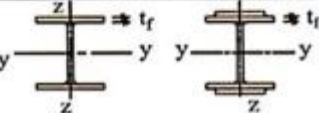

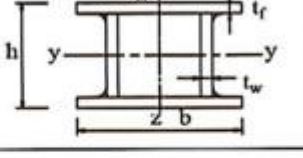
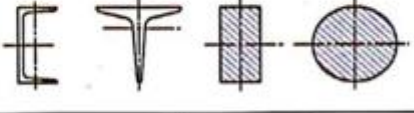

$$h/b = 2,3 > 1,2$$

$$t_f = 27 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Valjani presjeci

→ krivulja izvijanja a → faktor imperfekcije $\alpha_y = 0,21$

Tablica 10: Krivulje izvijanja za poprečne presjeke

Poprečni presjeci	Ograničenja	Izvijanje oko osi	Linija izvijanja		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Valjani presjeci 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀	
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c
Zavareni I profili 		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	
Supljii presjeci 		vruće dogotovljeni	bilo koje	a a ₀	
		hladno oblikovani	bilo koje	c c	
Zavareni sandu-časti presjeci 		općenito (osim kao ispod)	bilo koje	b b	
		debljina vara: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $b/t_w < 30$	bilo koje	c c	
U-, T- i puni presjeci 			bilo koje	c c	
L - presjeci 			bilo koje	b b	

Tablica 11: Faktori imperfekcije α ovisni o krivulji izvijanja

Krivulja izvijanja	a_0	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Izvijanje:

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

$$\Phi_y = 0,5[1 + 0,21 (0,280 - 0,2) + 0,280^2]$$

$$\Phi_y = 0,548$$

Faktor redukcije:

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

$$\chi_y = \frac{1}{0,548 + \sqrt{0,548^2 - 0,280^2}} \leq 1$$

$$\chi_y = 0,981$$

Otpornost na izvijanje oko os z-z

Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 12179}{700^2} = 5151,511 \text{ kN}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{260,5 \times 27,5}{5151,511}} = 1,179$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 2,3 > 1,2$$

$$t_f = 27 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Valjani presjeci

→ krivulja izvijanja b → faktor imperfekcije $\alpha_z = 0,34$

Izvijanje:

$$\Phi_z = 0,5[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5[1 + 0,34 (1,179 - 0,2) + 1,179^2]$$

$$\Phi_z = 1,361$$

Faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} \leq 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,361 + \sqrt{1,361^2 - 1,179^2}} \leq 1$$

$$\chi_z = 0,490$$

Otpornost na izvijanje

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,981; 0,490) = 0,490$$

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

$$N_{b,Rd} = 0,490 \frac{260,5 \times 27,5}{1,1} = 3191,125 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$376,58 \text{ kN} < 3191,125 \text{ kN} \rightarrow \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Izvijanje u ravni kada djeluje N + My

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{pl,Rd}} + k_y \times \frac{C_{my} \times M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

C_{my} – faktor ekvivalentnog jednolikog momenta

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

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \times (-0,577) \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,369 \geq 0,4 \rightarrow \text{Usvajamo } C_{my} = 0,4$$

k_y – interakcijski faktor

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times n_y \leq 1 + 0,8 \times n_y$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{pl,Rd}}$$

$$n_y = \frac{376,58}{0,981 \times 7163,75} = 0,054$$

$$k_y = 1 + (0,280 - 0,2) \times 0,054 \leq 1 + 0,8 \times 0,054$$

$$k_y = 1,004 \leq 1,043$$

$$\frac{376,58}{0,981 \times 7163,75} + 1,004 \times \frac{0,4 \times 475,86}{1934,061} \leq 1$$

0,157 < 1 → Uvjet je zadovoljen!

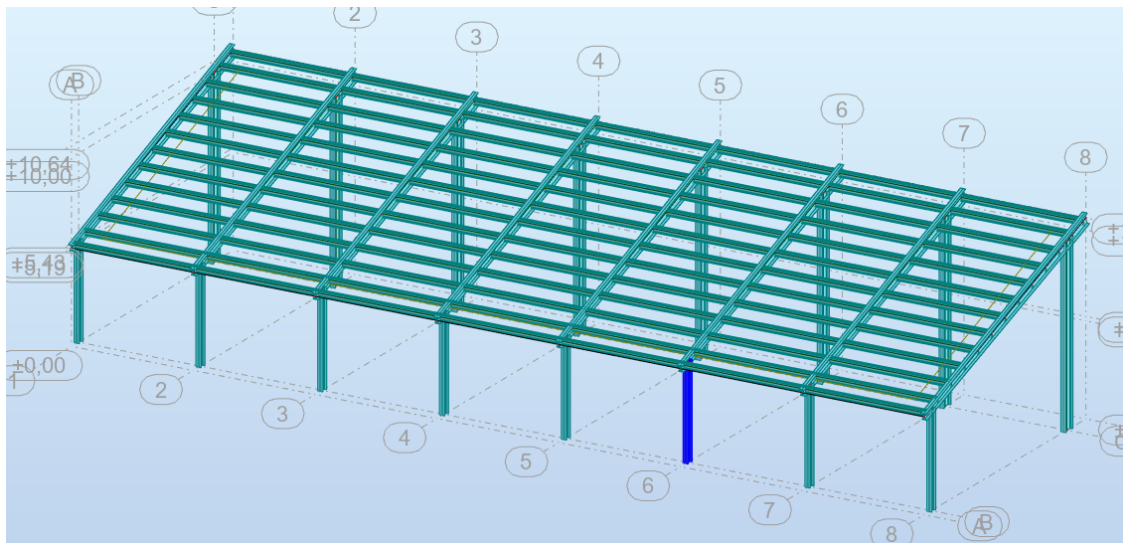
Izvijanje izvan ravnine kada djeluje N + M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{pl,Rd}} + 0,6 \times k_y \times \frac{C_{my} \times M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

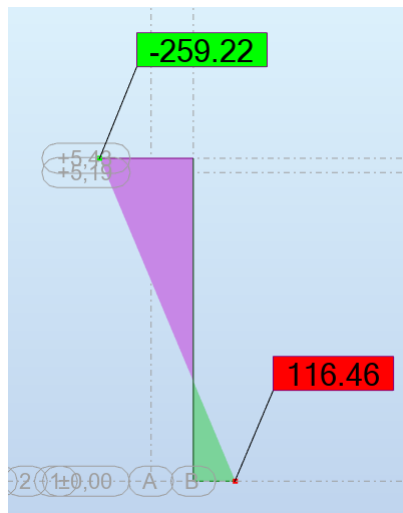
$$\frac{376,58}{0,490 \times 7163,75} + 0,6 \times 1,004 \times \frac{0,4 \times 475,86}{1934,061} \leq 1$$

0,167 < 1 → Uvjet je zadovoljen!

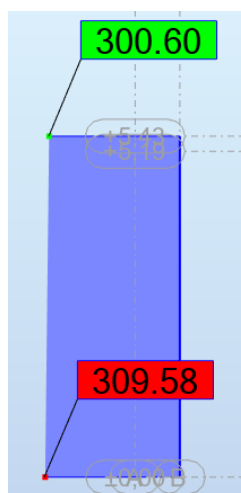
7.2. Dimenzioniranje stupa HEA 400



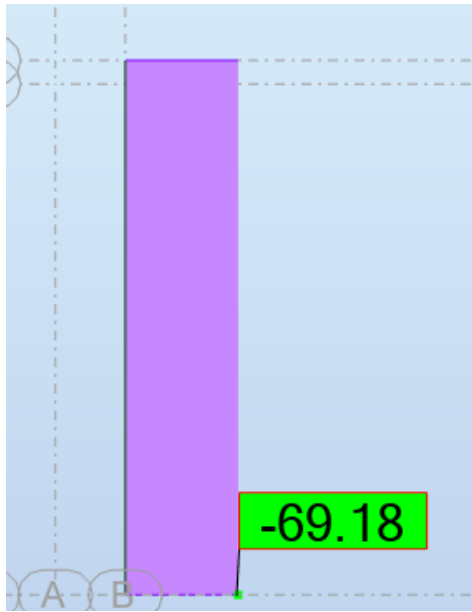
Slika 37: Položaj najopterećenijeg stupa



Slika 38: Dijagram momenata za kombinaciju 6

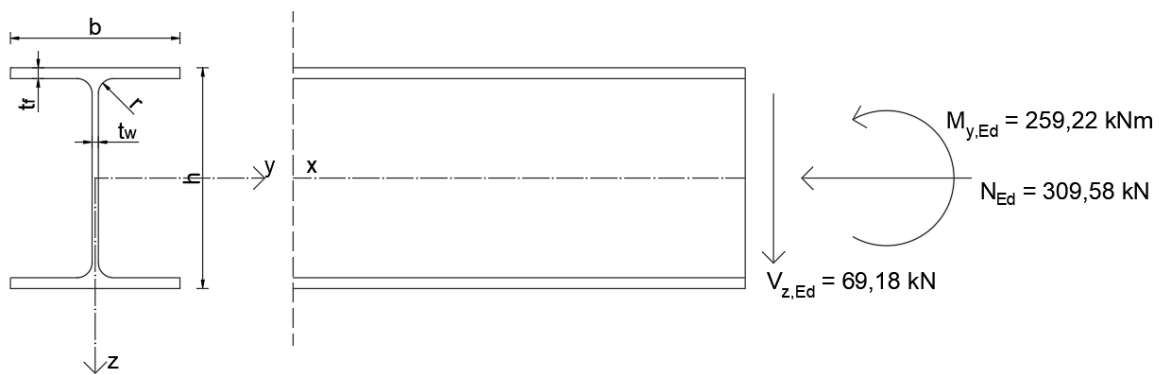


Slika 39: Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 6



Slika 40: Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 6

Otpornost poprečnog presjeka



Slika 41: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	390	mm
b	300	mm
t _f	19	mm
t _w	11	mm
r	27	mm
A	159	cm ²
I _y	45069	cm ⁴
I _z	8564	cm ⁴
W _{pl,y}	2562,41	cm ³
I _t	191,4	cm ⁴
I _w	2893600	cm ⁶
Karakteristike čelika S275		
E	210 000	N/mm ²
G	80 770	N/mm ²
ν	0,3	
ρ	7850	kg/m ³
f _y	275	N/mm ²
f _u	430	N/mm ²

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta:

Unutarnji element, izložen savijanju i tlaku

Uvjet za klasu 1:

$$N_{Ed} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{(2a \times t_w) \times f_y}{\gamma_{MO}}$$
$$\rightarrow a = \frac{N_{Ed} \times \gamma_{MO}}{2 \times t_w \times f_y} = \frac{309,58 \times 1,0}{2 \times 1,1 \times 27,5} = 5,117 \text{ cm}$$

$$c = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 390 - 2 \times 19 - 2 \times 27 = 298 \text{ mm} = 29,8 \text{ cm}$$

$$\alpha c = \frac{c}{2} + a \rightarrow \alpha = \frac{\frac{c}{2} + a}{c} = \frac{\frac{29,8}{2} + 5,117}{29,8} = 0,672$$

za $\alpha > 0,5$:

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{298}{11} \leq \frac{396 \times 0,924}{13 \times 0,672 - 1}$$

27,091 < 47,299 → Hrbat je klase 1

Provjera pojasnice:

Vanjski element, izložen tlaku

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{300}{2} - \frac{11}{2} - 27 = 117,5 \text{ mm}$$

$$\frac{117,5}{19} \leq 9 \times 0,924$$

6,184 < 8,316 → Pojasnica je klase 1

POPREČNI PRESJEK JE KLASA 1

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Za klasu 1

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{2562,41 \times 27,5}{1,0} = 70466,275 \text{ kNcm} = 704,663 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

259,22 kNm < 704,663 kNm → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{259,22}{704,663} = 0,37 < 1 \text{ (37\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\epsilon}{\eta}$$

$$\frac{h - 2 \times t_f}{t_w} \leq 72 \frac{\epsilon}{\eta}$$

$$\frac{390 - 2 \times 19}{11} \leq 72 \frac{0,924}{1,2}$$

32 < 55,44 → Nema izbočivanje hrpta!

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\gamma_{MO}}$$

Posmična površina A_v :

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

$$A_{v,z} = 159 - 2 \times 30 \times 1,9 + (1,1 + 2 \times 1,9) \times 1,9 \geq 1,2 \times 35,2 \times 1,1$$

$$A_{v,z} = 54,31 \text{ cm}^2 > 46,464 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 54,31 \times \frac{27,5}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{1,0} = 862,287 \text{ kN}$$

Uvjet nosivost:

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

69,18 kN < 862,287 kN → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{69,18}{862,287} = 0,08 < 1 \text{ (8\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

Za klasu 1

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{159 \times 27,5}{1,0} = 4372,5 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

309,58 kN < 4372,5 kN → Uvjet zadovoljava!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{309,58}{4372,5} = 0,07 \text{ (7\%)}$$

Interakcija savijanja i posmika

Provjera razine poprečne sile:

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd}$$

$$69,18 < 0,5 \times 862,287$$

$$69,18 \text{ kN} < 431,144 \text{ kN}$$

Interakcija savijanja i tlaka

Za klasu 1

Provjera razine uzdužne sile:

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

$$309,58 < 0,25 \times 4372,5$$

$$309,58 \text{ kN} < 1093,125 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \times h_w \times t_w \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$309,58 \leq \frac{0,5 \times 35,2 \times 1,1 \times 27,5}{1,0}$$

$$309,58 \text{ kN} < 532,4 \text{ kN}$$

→ Uvjet je zadovoljen, nije potrebno provoditi redukciju plastične otpornosti na savijanje

Otpornosti elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z}}$$

C_1, C_2 – faktori koji zavise o uvjetima na ležajima i vrsti opterećenja

Ψ – omjer momenata na krajevima

$$\Psi = \frac{116,46}{-259,22} = -0,449 \rightarrow C_1 = 2,27; C_2 = 0$$

k, k_w – faktori dužine izvijanja; $k = k_w = 1,0$

E – modul elastičnosti; $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

G – modul posmika; $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

I_z – moment površine drugog stupnja oko slabije osi; $I_z = 8564 \text{ cm}^4$

I_t – torzijska krutost; $I_t = 191,4 \text{ cm}^4$

I_w – konstanta krivljenja; $I_w = 2893600 \text{ cm}^6$

L – dužina nosača između točaka bočnog pridržavanja; $L = 5,43 \text{ m}$

$$M_{cr} = 2,27 \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 8564}{(1,0 \times 543)^2} \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{2893600}{8564} + \frac{(1,0 \times 543)^2 \times 8077 \times 191,4}{\pi^2 \times 21\,000 \times 8564}}$$

$$M_{cr} = 13665,386 \times \sqrt{337,879 + 256,801} = 333244,945 \text{ kNcm}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2562,41 \times 27,5}{333244,945}} = 0,460$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 1,3 < 2$$

Valjani I presjeci

→ krivulja izvijanja a → faktor imperfekcije $\alpha_{LT} = 0,21$

Bočno-torzijsko izvijanje:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + 0,21(0,460 - 0,2) + 0,460^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,633$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,633 + \sqrt{0,633^2 - 0,460^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,936 < 1$$

Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Za klasu 1

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,936 \frac{2562,41 \times 27,5}{1,1} = 59960,394 \text{ kNcm} = 599,604 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$259,22 \text{ kNm} < 599,604 \text{ kNm}$$

Otpornost element na izvijanje

Za klasu 1

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

Duljina izvijanja je jednaka u obje osi: $l_{cr,y} = l_{cr,z} = 0,7 \times L = 0,7 \times 5,43 = 3,801 \text{ m}$

Otpornost na izvijanje oko os y-y

Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 45069}{380,1^2} = 64654,867 \text{ kN}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{159 \times 27,5}{64654,867}} = 0,260$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 1,3 > 1,2$$

$$t_f = 19 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Valjani presjeci

→ krivulja izvijanja a → faktor imperfekcije $\alpha_y = 0,21$

Izvijanje:

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

$$\Phi_y = 0,5[1 + 0,21 (0,260 - 0,2) + 0,260^2]$$

$$\Phi_y = 0,540$$

Faktor redukcije:

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

$$\chi_y = \frac{1}{0,540 + \sqrt{0,540^2 - 0,260^2}} \leq 1$$

$$\chi_y = 0,987$$

Otpornost na izvijanje oko os z-z

Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 8564}{380,1^2} = 12285,702 \text{ kN}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{159 \times 27,5}{12285,702}} = 0,597$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 1,3 > 1,2$$

$$t_f = 19 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Valjani presjeci

→ krivulja izvijanja b → faktor imperfekcije $\alpha_z = 0,34$

Izvijanje:

$$\Phi_z = 0,5[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5[1 + 0,34 (0,597 - 0,2) + 0,597^2]$$

$$\Phi_z = 0,746$$

Faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} \leq 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,746 + \sqrt{0,746^2 - 0,597^2}} \leq 1$$

$$\chi_z = 0,838$$

Otpornost na izvijanje

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,987; 0,848) = 0,848$$

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

$$N_{b,Rd} = 0,848 \frac{159 \times 27,5}{1,1} = 3370,8 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

277,81 kN < 3370,8 kN → Uvjet je zadovoljen!

Izvijanje u ravnini kada djeluje N + M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{pl,Rd}} + k_y \times \frac{C_{my} \times M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

C_{my} – faktor ekvivalentnog jednolikog momenta

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

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \times (-0,449) \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,420 \geq 0,4$$

k_y – interakcijski faktor

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times n_y \leq 1 + 0,8 \times n_y$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{pl,Rd}}$$

$$n_y = \frac{277,81}{0,987 \times 4372,5} = 0,064$$

$$k_y = 1 + (0,260 - 0,2) \times 0,064 \leq 1 + 0,8 \times 0,064$$

$$k_y = 1,004 \leq 1,051$$

$$\frac{277,81}{0,987 \times 4372,5} + 1,004 \times \frac{0,420 \times 259,22}{704,633} \leq 1$$

0,219 < 1 → Uvjet je zadovoljen!

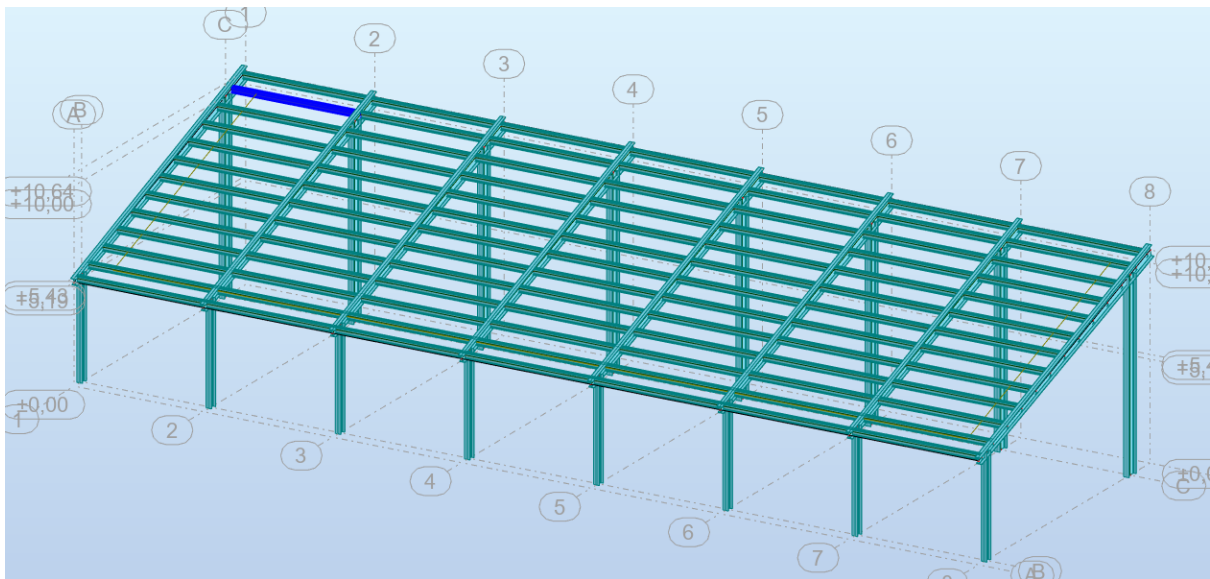
Izvijanje izvan ravnine kada djeluje N + M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{pl,Rd}} + 0,6 \times k_y \times \frac{C_{my} \times M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

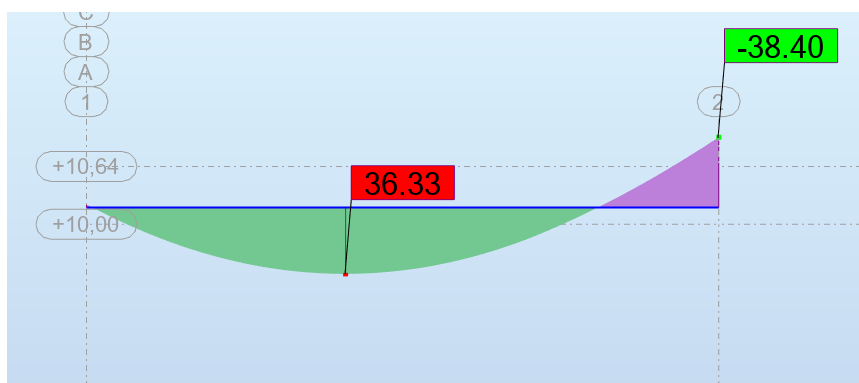
$$\frac{277,81}{0,838 \times 4372,5} + 0,6 \times 1,004 \times \frac{0,420 \times 259,22}{704,633} \leq 1$$

0,169 < 1 → Uvjet je zadovoljen!

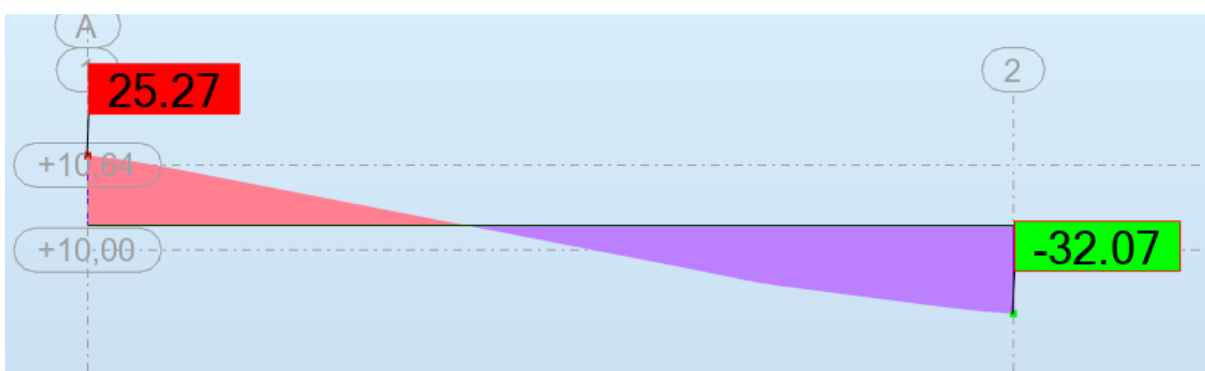
7.3. Dimenzioniranje podrožnica IPE 360



Slika 42: Položaj najopterećenije podrožnice

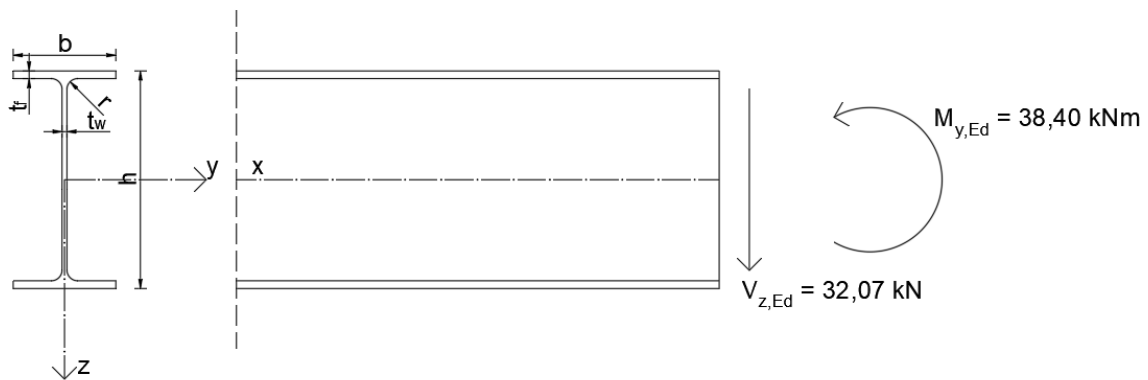


Slika 43: Dijagram momenata za kombinaciju 6



Slika 44: Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 6

Otpornost poprečnog presjeka



Slika 45: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	360	mm
b	170	mm
t _f	12,7	mm
t _w	8	mm
r	18	mm
A	72,73	cm ²
I _y	16266	cm ⁴
I _z	1043	cm ⁴
W _{pl,y}	1019,41	cm ³
I _t	37,08	cm ⁴
I _w	309370	cm ⁶
Karakteristike čelika S275		
E	210 000	N/mm ²
G	80 770	N/mm ²
ν	0,3	
ρ	7850	kg/m ³
f _y	275	N/mm ²
f _u	430	N/mm ²

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera hrpta:

Unutarnji element, izložen savijanju

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$c = h - 2 \times t_f - 2 \times r$$

$$c = 360 - 2 \times 12,7 - 2 \times 18 = 298,6 \text{ mm}$$

$$\frac{298,6}{8} \leq 72 \times 0,924$$

$$37,325 < 66,528 \rightarrow \text{Hrpat je klase 1}$$

Provjera pojasnice:

Vanjski element, izložen tlaku

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{170}{2} - \frac{8}{2} - 18 = 63 \text{ mm}$$

$$\frac{63}{12,7} \leq 9 \times 0,924$$

$$4,961 < 8,316 \rightarrow \text{Pojasnica je klase 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE KLASJE 1

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Za klasu 1

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1019,41 \times 27,5}{1,0} = 28033,775 \text{ kNcm} = 280,338 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$38,40 \text{ kNm} < 280,338 \text{ kNm} \rightarrow \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{38,40}{280,338} = 0,14 < 1 \text{ (14\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h-2 \times t_f}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{360-2 \times 12,7}{8} \leq 72 \frac{0,924}{1,2}$$

41,824 < 55,44 → Nema izbočivanje hrpta!

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_V \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\gamma_{MO}}$$

Posmična površina A_V :

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

$$A_{V,z} = 72,73 - 2 \times 17 \times 1,27 + (0,8 + 2 \times 1,27) \times 1,27 \geq 1,2 \times 33,46 \times 0,8$$

$$A_{V,z} = 33,792 \text{ cm}^2 > 32,122 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 33,792 \times \frac{27,5}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{1,0} = 536,520 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

32,07 kN < 536,520 kN → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{32,07}{536,520} = 0,06 < 1 \text{ (6\%)}$$

Interakcija savijanja i posmika

Provjera razine poprečne sile:

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd}$$

$$32,07 < 0,5 \times 536,520$$

$$32,07 \text{ kN} < 268,260 \text{ kN}$$

Otpornosti elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z}}$$

C_1, C_2 – faktori koji zavise o uvjetima na ležajima i vrsti opterećenja

Ψ – omjer momenata na krajevima

$$\Psi = \frac{0}{38,4} = 0 \rightarrow C_1 = 1,77; C_2 = 0$$

k, k_w – faktori dužine izvijanja; $k = k_w = 1,0$

E – modul elastičnosti; $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

G – modul posmika; $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

I_z – moment površine drugog stupnja oko slabije osi; $I_z = 1043,0 \text{ cm}^4$

I_t – torzijska krutost; $I_t = 37,08 \text{ cm}^4$

I_w – konstanta krivljenja; $I_w = 309370 \text{ cm}^6$

L – dužina nosača između točaka bočnog pridržavanja; $L = 7,0 \text{ m}$

$$M_{cr} = 1,77 \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 1043}{(1,0 \times 700)^2} \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{309370}{1043} + \frac{(1,0 \times 700)^2 \times 8077 \times 37,08}{\pi^2 \times 21\,000 \times 1043}}$$

$$M_{cr} = 780,873 \times \sqrt{296,616 + 678,864} = 24388,753 \text{ kNcm}$$

Vitkost elemenata:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pLy} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1019,41 \times 27,5}{24388,753}} = 1,072$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 2,118 > 2$$

Valjani I presjeci

→ krivulja izvijanja b → faktor imperfekcije $\alpha_{LT} = 0,34$

Bočno-torzijsko izvijanje:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + 0,34 (1,072 - 0,2) + 1,072^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,223$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,223 + \sqrt{1,223^2 - 1,072^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,552 < 1$$

Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Za klasu 1

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

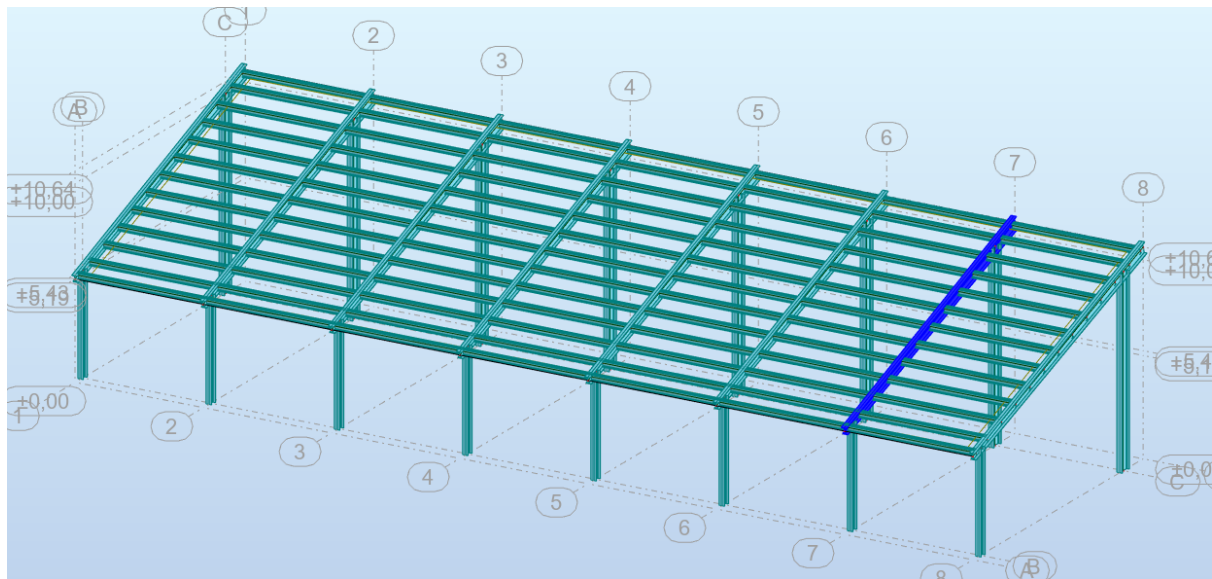
$$M_{b,Rd} = 0,552 \frac{1019,41 \times 27,5}{1,1} = 14067,858 \text{ kNcm} = 140,679 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

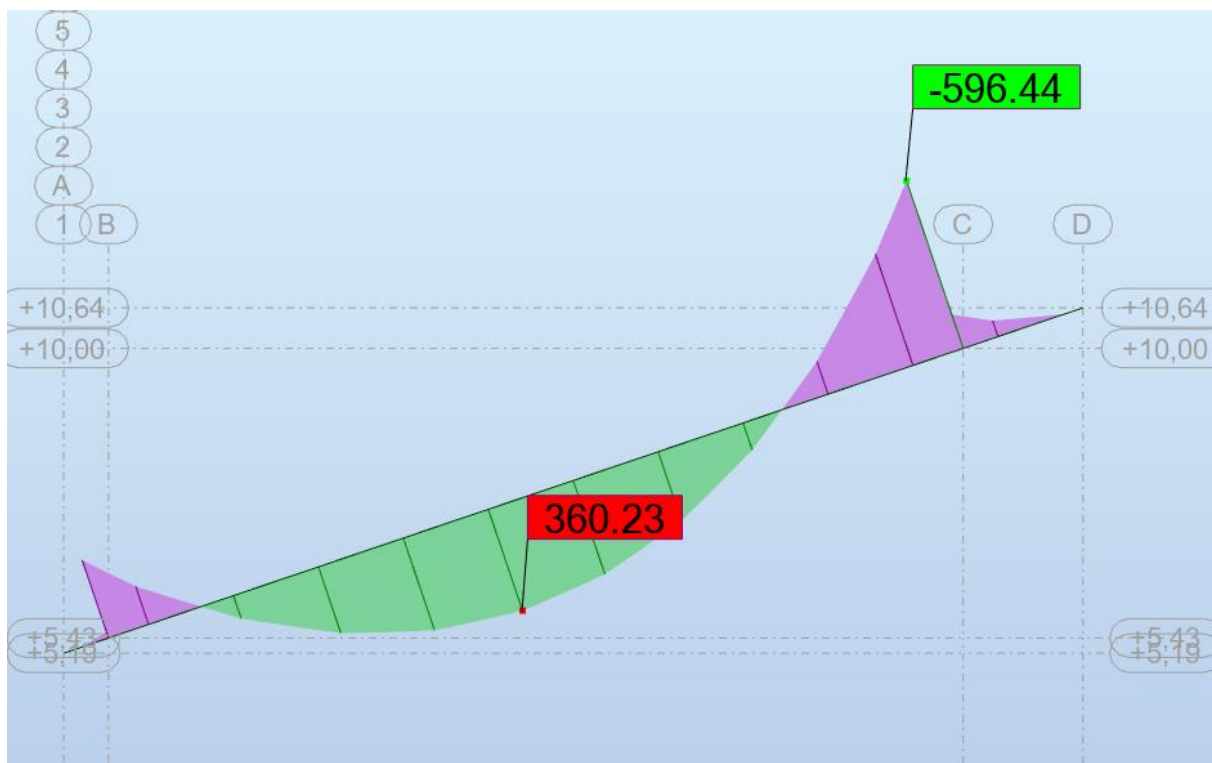
$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

38,40 kNm < 140,679 kNm → Uvjet je zadovoljen!

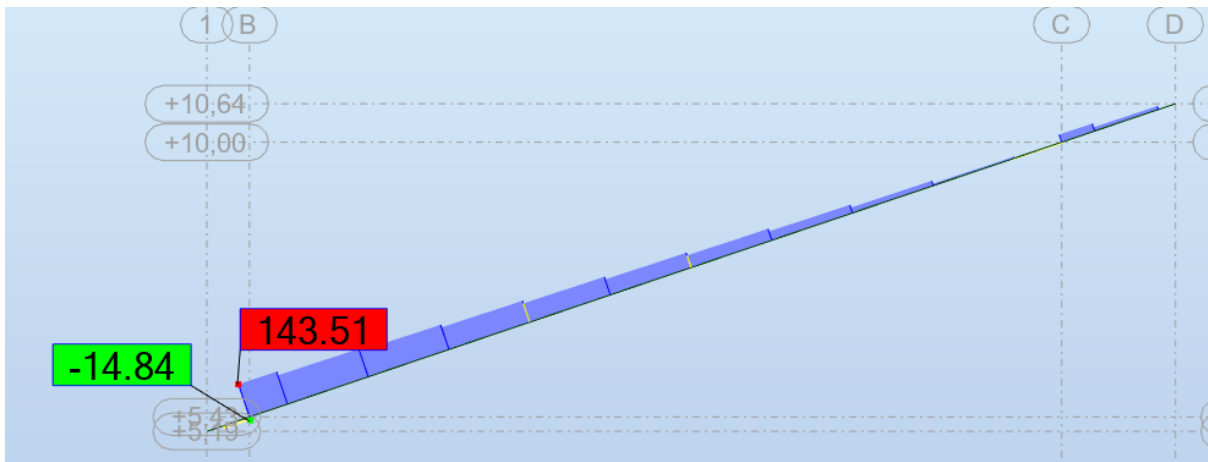
7.4. Dimenzioniranje grede



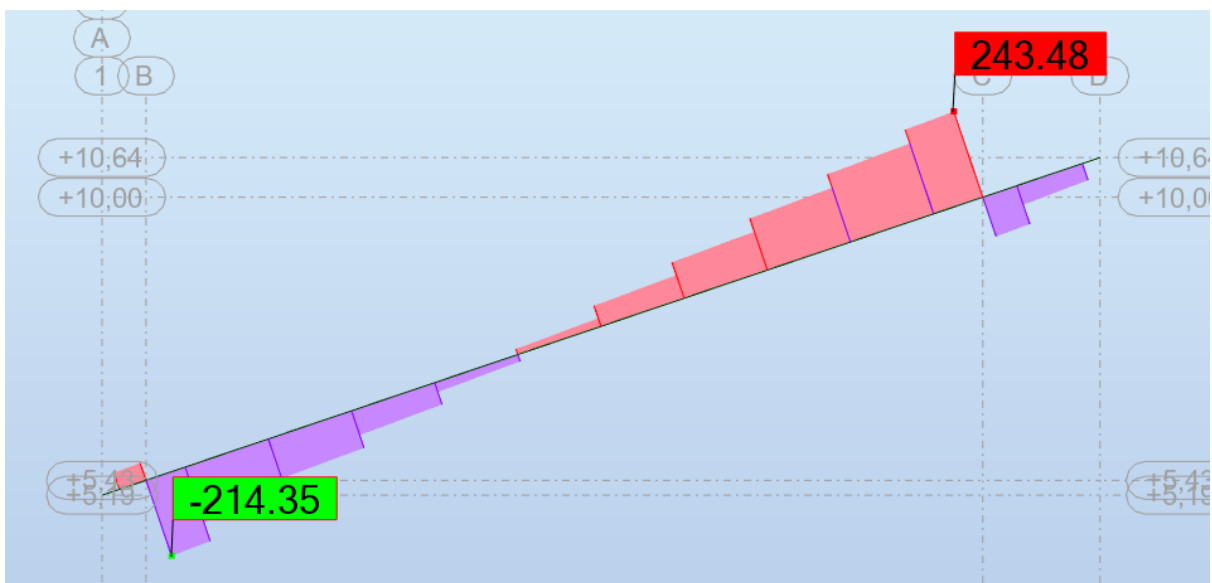
Slika 46: Položaj najopterećenije grede



Slika 47: Dijagram momenata za kombinaciju 6

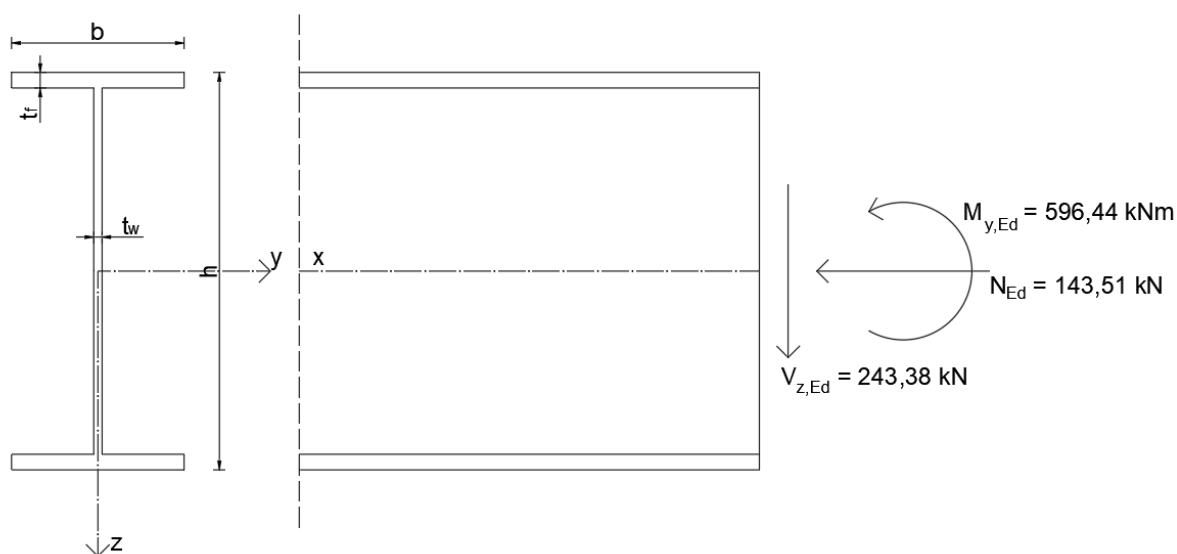


Slika 48: Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 6



Slika 49: Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 6

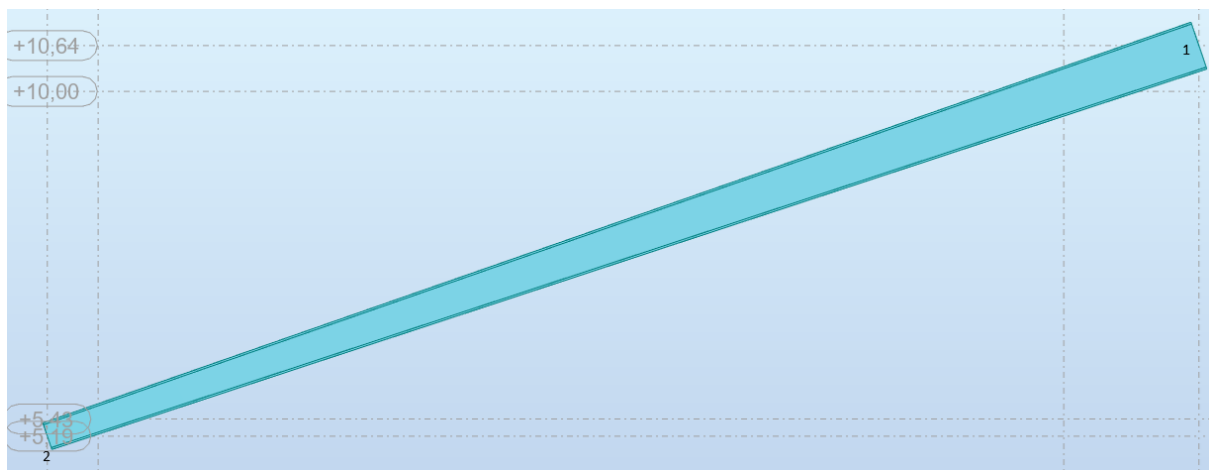
Otpornost poprečnog presjeka



Slika 50: Prikaz momenta i sila koji djeluju na poprečni presjek

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	690 (390)	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14,5	mm
r	/	mm
A	254,22(210,72)	cm ²
I _y	209209 (58048,4)	cm ⁴
I _z	12166,2 (12158,5)	cm ⁴
W _{pl,y}	6836,598 (3349,548)	cm ³
I _t	447,3 (416,8)	cm ⁴
I _w	13335200 (3996420)	cm ⁶
Karakteristike čelika S275		
E	210 000	N/mm ²
G	80 770	N/mm ²
ν	0,3	
ρ	7850	kg/m ³
f _y	275	N/mm ²
f _u	430	N/mm ²

Klasifikacija poprečnog presjeka



Slika 51: Prikaz točaka u kojima provodimo klasifikaciju poprečnog presjeka

Provjera hrpta:

Unutarnji element, izložen savijanju i tlaku

Točka 1

Uvjet za klasu 1:

$$N_{Ed} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{(2a \times t_w) \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$\rightarrow a = \frac{N_{Ed} \times \gamma_{MO}}{2 \times t_w \times f_y} = \frac{143,51 \times 1,0}{2 \times 1,45 \times 27,5} = 1,799 \text{ cm}$$

$$c = h - 2 \times t_f = 690 - 2 \times 27 = 636 \text{ mm} = 63,6 \text{ cm}$$

$$\alpha c = \frac{c}{2} + a \rightarrow \alpha = \frac{\frac{c}{2} + a}{c} = \frac{\frac{63,6}{2} + 1,799}{63,6} = 0,528$$

za $\alpha > 0,5$:

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \varepsilon}{13 \alpha - 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{636}{14,5} \leq \frac{396 \times 0,924}{13 \times 0,528 - 1}$$

43,862 < 62,398 → Uvjet zadovoljava!

Točka 2

Uvjet za klasu 1:

$$N_{Ed} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{(2a \times t_w) \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$\rightarrow a = \frac{N_{Ed} \times \gamma_{MO}}{2 \times t_w \times f_y} = \frac{143,51 \times 1,0}{2 \times 1,45 \times 27,5} = 1,799 \text{ cm}$$

$$c = h - 2 \times t_f = 390 - 2 \times 27 = 336 \text{ mm} = 33,6 \text{ cm}$$

$$\alpha c = \frac{c}{2} + a \rightarrow \alpha = \frac{\frac{c}{2} + a}{c} = \frac{\frac{33,6}{2} + 1,799}{33,6} = 0,554$$

za $\alpha > 0,5$:

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{336}{14,5} \leq \frac{396 \times 0,924}{13 \times 0,554 - 1}$$

23,172 < 58,998 → Uvjet zadovoljava!

→ Hrnat je klase 1

Provjera pojasnice:

Vanjski element, izložen tlaku

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

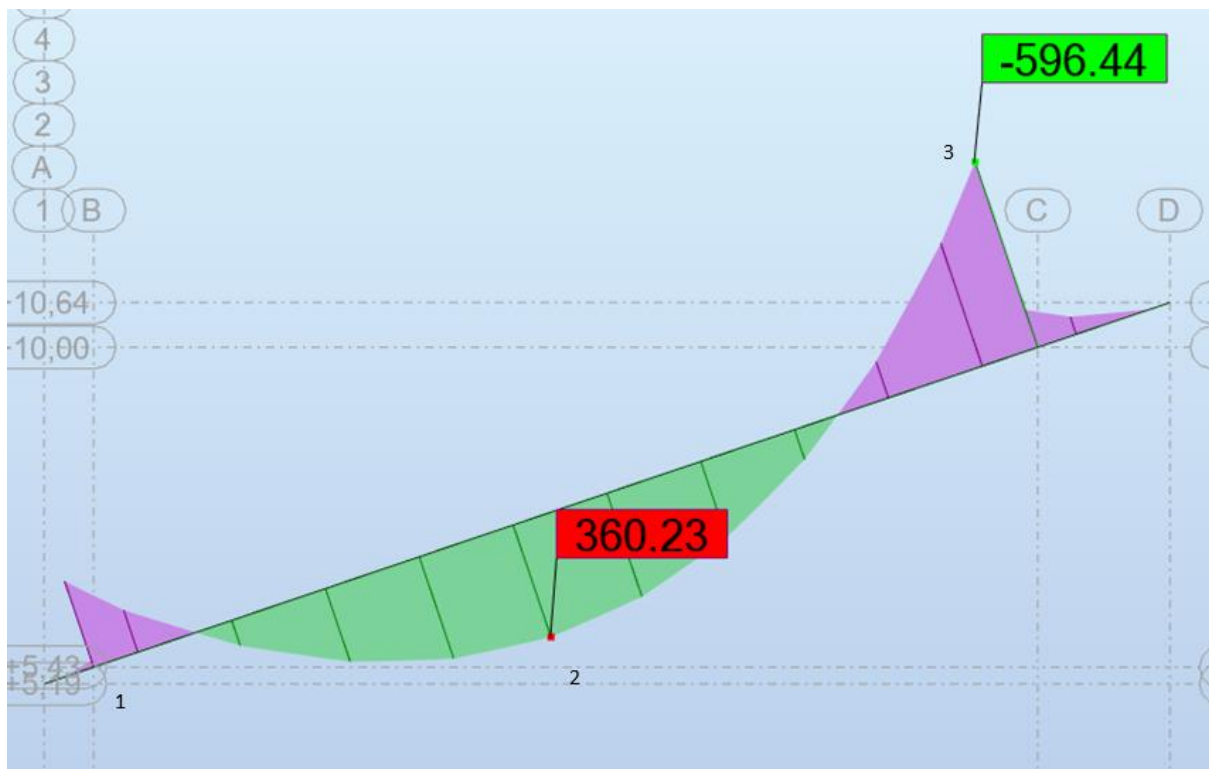
$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - \frac{14,5}{2} = 142,75 \text{ mm}$$

$$\frac{142,75}{27} \leq 9 \times 0,924$$

5,287 < 8,316 → Pojasnica je klase 1

POPREČNI PRESJEK JE KLASA 1

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje



Slika 52: Prikaz točaka u kojima provodimo provjeru otpornosti poprečnog presjeka na savijanje

Točka 1:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	403,235	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14,5	mm
r	/	mm
W _{pl,y}	3489,63	cm ³

Za klasu 1:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{3489,63 \times 27,5}{1,0} = 95964,825 \text{ kNcm} = 959,648 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$271,05 \text{ kNm} < 959,648 \text{ kNm} \rightarrow \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{271,05}{959,648} = 0,28 < 1 \text{ (28\%)}$$

Točka 2:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	513,529	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14,5	mm
r	/	mm
W _{pl,y}	4076,36	cm ³

Za klasu 1:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{4706,36 \times 27,5}{1,0} = 129424,9 \text{ kNcm} = 1294,249 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

360,23 kNm < 1294,249 kNm → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{360,23}{1294,249} = 0,28 < 1 \text{ (28\%)}$$

Točka 3:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	654,706	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14,5	mm
r	/	mm
W _{pl,y}	6392,49	cm ³

Za klasu 1:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{6392,49 \times 27,5}{1,0} = 175793,475 \text{ kNcm} = 1757,935 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

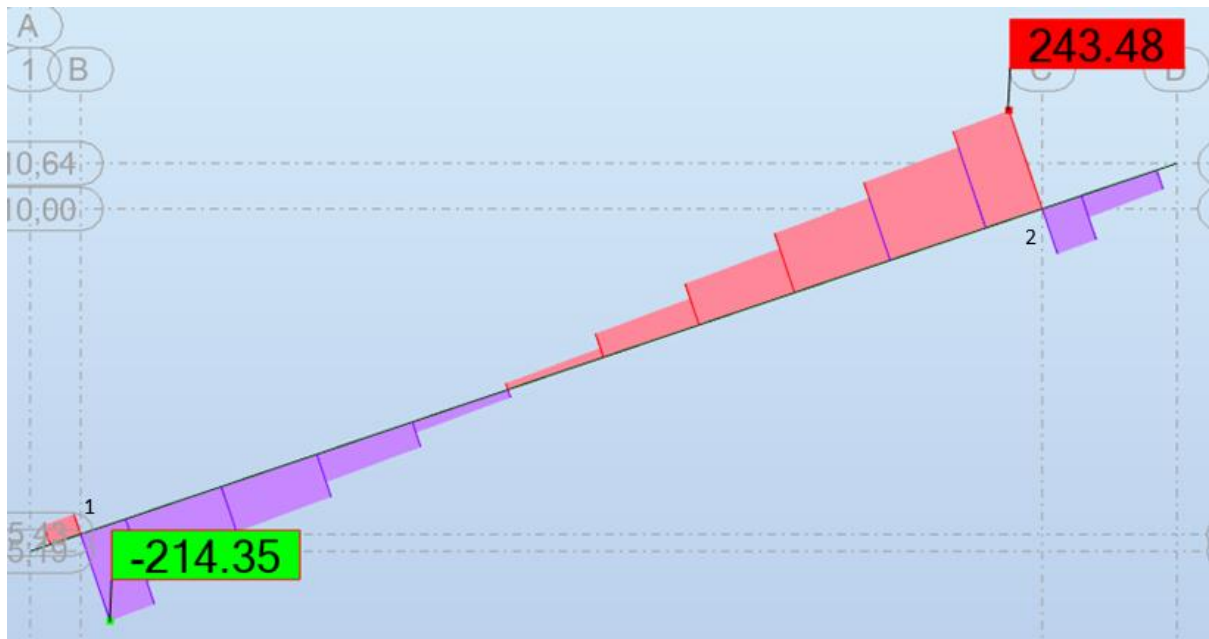
$$M_{y,Ed} \leq M_{c,Rd}$$

596,44 kNm < 1757,935 kNm → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{596,44}{1757,935} = 0,34 < 1 \text{ (34\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu



Slika 53: Prikaz točaka u kojima provodimo provjeru otpornosti poprečnog presjeka na posmik

Točka 1:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	403,235	mm
b	300	mm
t_f	27	mm
t_w	14,5	mm
r	/	mm
A	212,639	cm ²

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\epsilon}{\eta}$$

$$\frac{h-2 \times t_f}{t_w} \leq 72 \frac{\epsilon}{\eta}$$

$$\frac{403,235-2 \times 27}{14,5} \leq 72 \frac{0,924}{1,0}$$

24,085 < 66,528 → Nema izbočivanje hrpta!

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\gamma_{MO}}$$

Posmična površina A_v :

$$A_{v,z} = t_w \times h$$

$$A_{v,z} = 1,45 \times 40,324$$

$$A_{v,z} = 58,470 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 58,470 \times \frac{27,5}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{1,0} = 928,336 \text{ Kn}$$

Uvjet nosivost:

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

214,35 kN < 928,336 kN → Uvjet je zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{214,35}{928,336} = 0,23 < 1 \text{ (23\%)}$$

Točka 2:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	654,706	mm
b	300	mm
t_f	27	mm
t_w	14,5	mm
r	/	mm
A	249,102	cm ²

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h-2 \times t_f}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{654,706-2 \times 27}{14,5} \leq 72 \frac{0,924}{1,0}$$

41,428 < 66,528 → Nema izbočivanje hrpta!

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\gamma_{MO}}$$

Posmična površina A_v :

$$A_{v,z} = t_w \times h$$

$$A_{v,z} = 1,45 \times 65,471$$

$$A_{v,z} = 94,933 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 94,933 \times \frac{27,5}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{1,0} = 1507,264 \text{ Kn}$$

Uvjet nosivost:

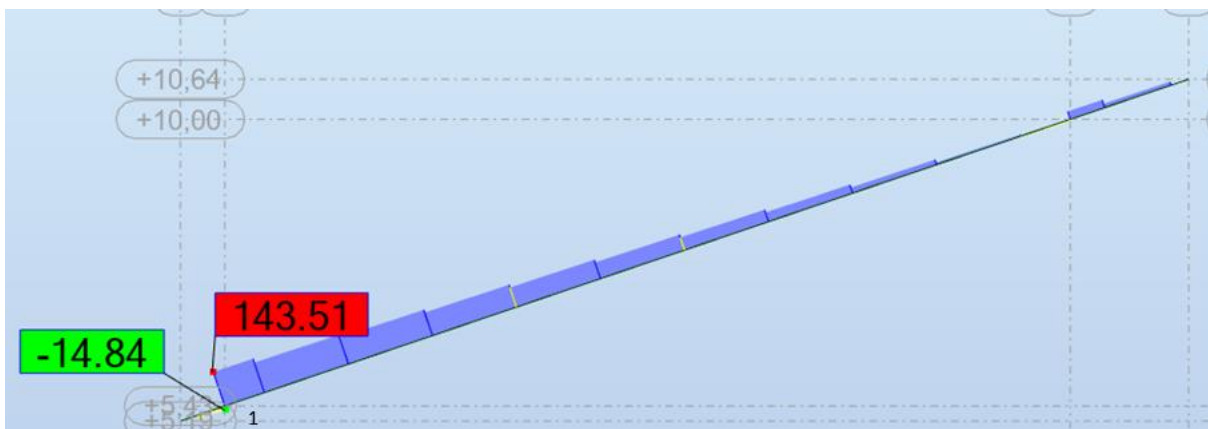
$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$243,48 \text{ kN} < 1507,264 \text{ kN} \rightarrow \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{243,48}{1507,264} = 0,16 < 1 \text{ (16\%)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlak



Slika 54: Prikaz točaka za koje provodimo provjeru otpornosti poprečnog presjeka na tlak

Točka 1:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	403,235	mm
b	300	mm
t_f	27	mm
t_w	14,5	mm
r	/	mm
A	212,639	cm ²

Za klasu 1

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{212,639 \times 27,5}{1,0} = 5847,573 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

143,51 kN < 5837,573 kN → Uvjet zadovoljava!

Iskoristivost poprečnog presjeka:

$$\frac{143,51}{5837,573} = 0,02 \text{ (2\%)}$$

Interakcija savijanja i posmika

Provjera razine poprečne sile:

Za točku 1:

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd}$$

$$243,38 < 0,5 \times 928,336$$

$$243,38 \text{ kN} < 464,168 \text{ kN}$$

Za točku 2:

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd}$$

$$243,38 < 0,5 \times 1507,264$$

$$243,38 \text{ kN} < 753,632 \text{ kN}$$

Interakcija savijanja i tlaka

Za klasu 1

Provjera razine uzdužne sile:

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

$$143,51 < 0,25 \times 5847,573$$

$$143,51 \text{ kN} < 1461,893 \text{ kN}$$

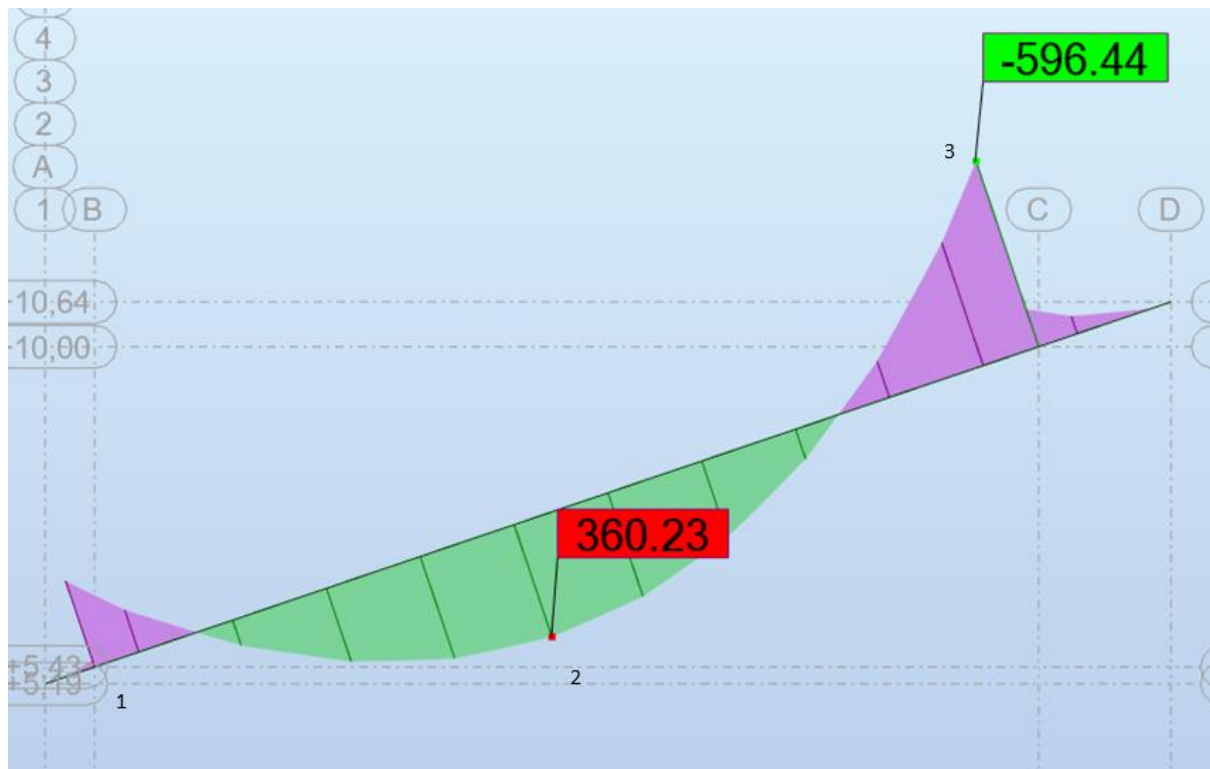
$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \times h_w \times t_w \times f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$143,51 \leq \frac{0,5 \times 34,924 \times 1,45 \times 27,5}{1,0}$$

$$143,51 \text{ kN} < 696,297 \text{ kN}$$

→ Uvjet je zadovoljen, nije potrebno provoditi redukciju plastične otpornosti na savijanje

Otpornosti elementa na bočno-torzijsko izvijanje:



Slika 55: Prikaz točaka za koje provodimo provjeru otpornosti elemenata na bočno-torzijsko izvijanje

Za točku 1:

Elastični kritični moment:

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

C_1, C_2 – faktori koji zavise o uvjetima na ležajima i vrsti opterećenja

Ψ – omjer momenata na krajevima

$$\Psi = \frac{271,05}{596,44} = 0,454$$

$$q_d = 27,06 \text{ kN/m} \rightarrow \mu = \frac{q_d \times L^2}{8 \times M} = -\frac{27,06 \times 14,25^2}{8 \times 596,44} = -1,15$$

→ $C_1 = 2,6; C_2 = 1,45$

k, k_w – faktori dužine izvijanja; $k = k_w = 1,0$

E – modul elastičnosti; $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

G – modul posmika; $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

I_z – moment površine drugog stupnja oko slabije osi; $I_z = 12158,9 \text{ cm}^4$

I_t – torzijska krutost; $I_t = 418,1 \text{ cm}^4$

I_w – konstanta krivljenja; $I_w = 4293020 \text{ cm}^6$

L – dužina nosača između točaka bočnog pridržavanja; $L = 14,25 \text{ m}$

$$M_{cr} = 2,6 \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 12158,9}{(1,0 \times 1425)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{4293020}{12158,9} + \frac{(1,0 \times 1425)^2 \times 8077 \times 418,1}{\pi^2 \times 21000 \times 12158,9}} + (1,45 \times 20,162)^2 - 1,45 \times 20,162 \right]$$

$$M_{cr} = 3226,688 \times \left[\sqrt{353,076 + 2721,113 + 854,679} - 29,235 \right] = 107918,783 \text{ kNcm}$$

Vitkost elemenata:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pL,y} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{3489,64 \times 27,5}{107918,783}} = 0,943$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 1,344 < 2$$

Zavareni I presjeci

→ krivulja izvijanja c → faktor imperfekcije $\alpha_{LT} = 0,49$

Bočno-torzijsko izvijanje:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + 0,49 (0,943 - 0,2) + 0,943^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,127$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,127 + \sqrt{1,127^2 - 0,943^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,573 < 1$$

Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Za klasu 1

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,573 \frac{3489,64 \times 27,5}{1,1} = 49989,093 \text{ kNcm} = 499,891 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$271,05 \text{ kNm} < 499,891 \text{ kNm}$$

Za točku 2:

Elastični kritični moment:

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

C_1, C_2 – faktori koji zavise o uvjetima na ležajima i vrsti opterećenja

Ψ – omjer momenata na krajevima

$$\Psi = \frac{271,05}{596,44} = 0,454$$

$$\mu = \frac{q_d \times L^2}{8 \times M} = \frac{27,06 \times 14,25^2}{8 \times 596,44} = -1,15$$

$$\rightarrow C_1 = 2,6; C_2 = 1,45$$

k, k_w – faktori dužine izvijanja; $k = k_w = 1,0$

E – modul elastičnosti; $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

G – modul posmika; $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

I_z – moment površine drugog stupnja oko slabije osi; $I_z = 12161,7 \text{ cm}^4$

I_t – torzijska krutost; $I_t = 429,35 \text{ cm}^4$

I_w – konstanta krivljenja; $I_w = 7179180 \text{ cm}^6$

L – dužina nosača između točaka bočnog pridržavanja; $L = 14,25 \text{ m}$

$$M_{cr} = 2,6 \frac{\pi^2 \times 21000 \times 12161,7}{(1,0 \times 1425)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{7179180}{12161,7} + \frac{(1,0 \times 1425)^2 \times 8077 \times 429,35}{\pi^2 \times 21000 \times 12161,7}} + (1,45 \times 25,676)^2 - 1,45 \times 25,676 \right]$$

$$M_{cr} = 3227,431 \times \left[\sqrt{590,311 + 2793,688 + 1386,088} - 37,230 \right] = 102747,901 \text{ kNcm}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pL,y} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{4706,36 \times 27,5}{102747,901}} = 1,122$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 1,712 < 2$$

Zavareni I presjeci

→ krivulja izvijanja c → faktor imperfekcije $\alpha_{LT} = 0,49$

Bočno-torzijsko izvijanje:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + 0,49 (1,122 - 0,2) + 1,122^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,355$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,355 + \sqrt{1,355^2 - 1,122^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,473 < 1$$

Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Za klasu 1

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,473 \frac{4706,36 \times 27,5}{1,1} = 55652,708 \text{ kNcm} = 556,527 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$360,23 \text{ kNm} < 556,527 \text{ kNm}$$

Za točku 3:

Elastični kritični moment:

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

C_1, C_2 – faktori koji zavise o uvjetima na ležajima i vrsti opterećenja

Ψ – omjer momenata na krajevima

$$\Psi = \frac{271,05}{596,44} = 0,454$$

$$\mu = \frac{q_d \times L^2}{8 \times M} = \frac{27,06 \times 14,25^2}{8 \times 596,44} = -1,15$$

$$\rightarrow C_1 = 2,95; C_2 = 1,35$$

k, k_w – faktori dužine izvijanja; $k = k_w = 1,0$

E – modul elastičnosti; $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

G – modul posmika; $G = 8077 \text{ kN/cm}^2$

I_z – moment površine drugog stupnja oko slabije osi; $I_z = 12165,3 \text{ cm}^4$

I_t – torzijska krutost; $I_t = 443,7 \text{ cm}^4$

I_w – konstanta krivljenja; $I_w = 11955400 \text{ cm}^6$

L – dužina nosača između točaka bočnog pridržavanja; $L = 14,25 \text{ m}$

$$M_{cr} = 2,95 \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 12165,3}{(1,0 \times 1425)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{11955400}{12165,3} + \frac{(1,0 \times 1425)^2 \times 8077 \times 443,7}{\pi^2 \times 21000 \times 12165,3} + (1,35 \times 32,735)^2} - 1,35 \times 32,735 \right]$$

$$M_{cr} = 3662,977 \times \left[\sqrt{982,746 + 2886,206 + 1952,954} - 44,192 \right] = 117616,05 \text{ kNcm}$$

Vitkost elemenata:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{6392,49 \times 27,5}{117616,05}} = 1,203$$

Faktor imperfekcije:

$$h/b = 2,182 > 2$$

Zavareni I presjeci

→ krivulja izvijanja d → faktor imperfekcije $\alpha_{LT} = 0,76$

Bočno-torzijsko izvijanje:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + 0,76(1,203 - 0,2) + 1,203^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,605$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,605 + \sqrt{1,605^2 - 1,203^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,375 < 1$$

Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje:

Za klasu 1

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

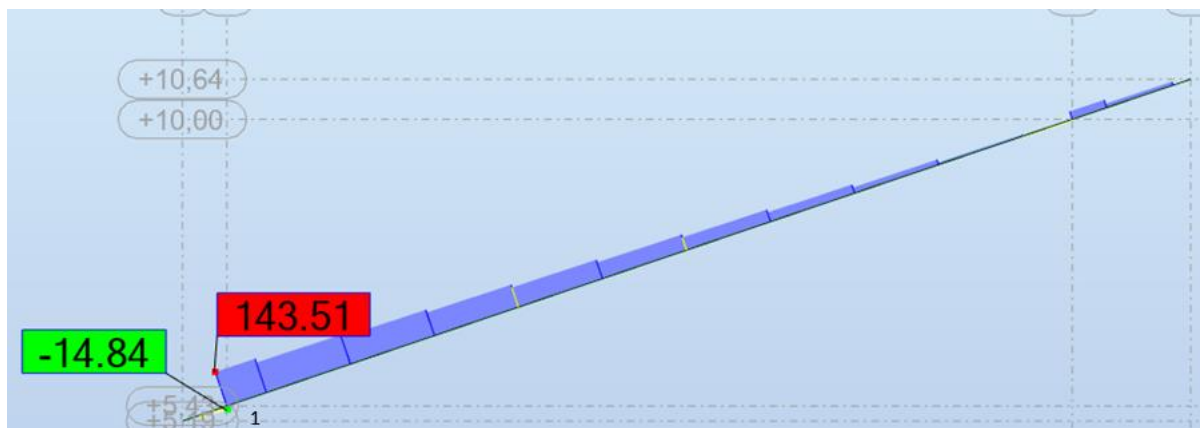
$$M_{b,Rd} = 0,375 \frac{6392,49 \times 27,5}{1,1} = 59929,594 \text{ kNcm} = 599,296 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$596,44 \text{ kNm} < 599,296 \text{ kNm}$$

Otpornost element na izvijanje



Slika 56: Prikaz točke u kojoj se javlja najveći tlak

Za točku 1:

Karakteristike poprečnog presjeka		
h	403,235	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14.5	mm
r	0	mm
A	212,639	cm ²
I _y	62574,1	cm ⁴
I _z	12158,9	cm ⁴

Za klasu 1

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

Duljina izvijanja je jednaka u obje osi: $l_{cr,y} = l_{cr,z} = L = 14,25 \text{ m}$

Otpornost na izvijanje oko os y-y

Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 62\,574,1}{14,25^2} = 6386,809 \text{ kN}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{212,639 \times 27,5}{6386,809}} = 0,957$$

Faktor imperfekcije:

$$t_f = 27 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Zavareni presjeci

→ krivulja izvijanja b → faktor imperfekcije $\alpha_y = 0,34$

Izvijanje:

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

$$\Phi_y = 0,5[1 + 0,34 (0,957 - 0,2) + 0,957^2]$$

$$\Phi_y = 1,087$$

Faktor redukcije:

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

$$\chi_y = \frac{1}{1,087 + \sqrt{1,087^2 - 0,957^2}} \leq 1$$

$$\chi_y = 0,624$$

Otpornost na izvijanje oko os z-z

Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 21\,000 \times 12158,9}{1425^2} = 1241,034 \text{ kN}$$

Vitkost elemenata:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{212,639 \times 27,5}{1241,034}} = 2,171$$

Faktor imperfekcije:

$$t_f = 27 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Zavareni presjeci

→ krivulja izvijanja c → faktor imperfekcije $\alpha_z = 0,49$

Izvijanje:

$$\Phi_z = 0,5[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5[1 + 0,49 (2,171 - 0,2) + 2,171^2]$$

$$\Phi_z = 3,340$$

Faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} \leq 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{3,340 + \sqrt{3,340^2 - 2,171^2}} \leq 1$$

$$\chi_z = 0,170$$

Otpornost na izvijanje

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,624; 0,170) =$$

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

$$N_{b,Rd} = 0,170 \frac{212,639 \times 27,5}{1,1} = 903,716 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

143,51 kN < 903,716 kN → Uvjet je zadovoljen!

Izvijanje u ravni kada djeluje N + M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{pl,Rd}} + k_y \times \frac{C_{my} \times M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

C_{my} – faktor ekvivalentnog jednolikog momenta

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

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \times 0,454 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,782 > 0,4$$

k_y – interakcijski faktor

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \times n_y \leq 1 + 0,8 \times n_y$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{pl,Rd}}$$

$$n_y = \frac{143,51}{0,624 \times 5837,573} = 0,025$$

$$k_y = 1 + (0,957 - 0,2) \times 0,025 \leq 1 + 0,8 \times 0,025$$

$$k_y = 1,019 < 1,02$$

$$\frac{143,51}{0,624 \times 5837,573} + 1,019 \times \frac{0,782 \times 271,05}{959,648} \leq 1$$

$0,264 < 1 \rightarrow$ Uvjet je zadovoljen!

Izvijanje izvan ravnine kada djeluje N + M_y

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{pl,Rd}} + 0,6 \times k_y \times \frac{C_{my} \times M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1$$

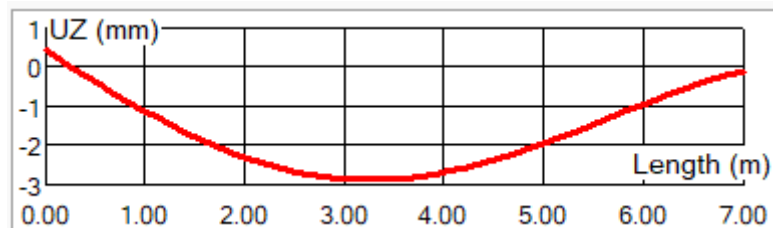
$$\frac{143,51}{0,170 \times 5837,573} + 0,6 \times 1,019 \times \frac{0,782 \times 271,05}{959,648} \leq 1$$

$0,280 < 1 \rightarrow$ Uvjet je zadovoljen!

8. Dimenzioniranje glavnih elemenata konstrukcije za granično stanje uporabljivosti

8.1. Provjera pomaka podrožnice

Pomak podrožnice za mjerodavnu kombinaciju 19 iznosi: $\delta = 3$ mm



Slika 57: Pomaci podrožnice za kombinaciju 14

Uvjet nosivosti:

Dozvoljeni ukupni progib:

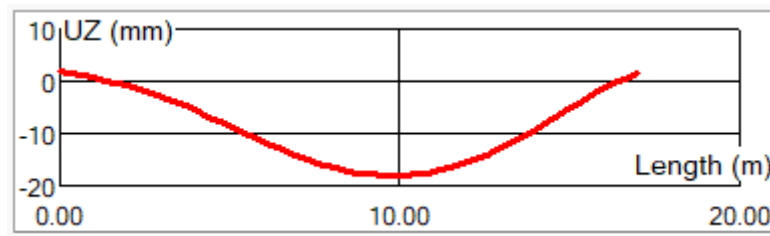
$$L/200 = 7000/200 = 35 \text{ mm}$$

$$\delta \leq L/200$$

$$3 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

8.2. Provjera pomaka grede

Pomak grede za mjerodavnu kombinaciju 14 iznosi: $\delta = 18$ mm



Slika 58: Pomaci grede za kombinaciju 14

Uvjet nosivosti:

Dozvoljeni ukupni progib:

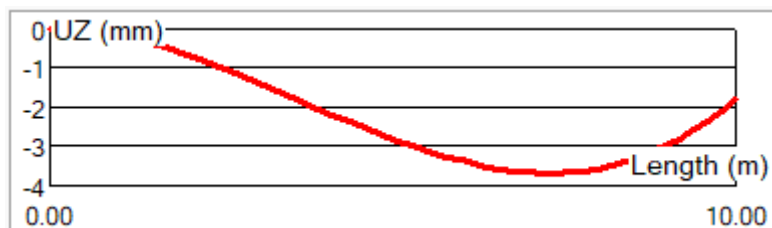
$$L/200 = 17000/200 = 85 \text{ mm}$$

$$\delta \leq L/200$$

$$18 \text{ mm} < 85 \text{ mm}$$

8.3. Provjera pomaka stupa HEA 700

Pomak stupa za mjerodavnu kombinaciju 14 iznosi: $\delta = 4 \text{ mm}$



Slika 59: Pomaci stupa za kombinaciju 14

Uvjet nosivosti:

Dozvoljeni ukupni progib:

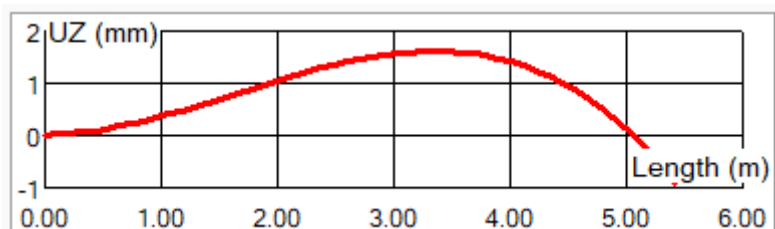
$$L/200 = 10000/200 = 50 \text{ mm}$$

$$\delta \leq L/200$$

$$4 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

8.4. Provjera pomaka stupa HEA 400

Pomak stupa za mjerodavnu kombinaciju 14 iznosi: $\delta = 2 \text{ mm}$



Slika 60: Pomaci stupa za kombinaciju 14

Uvjet nosivosti:

Dozvoljeni ukupni progib:

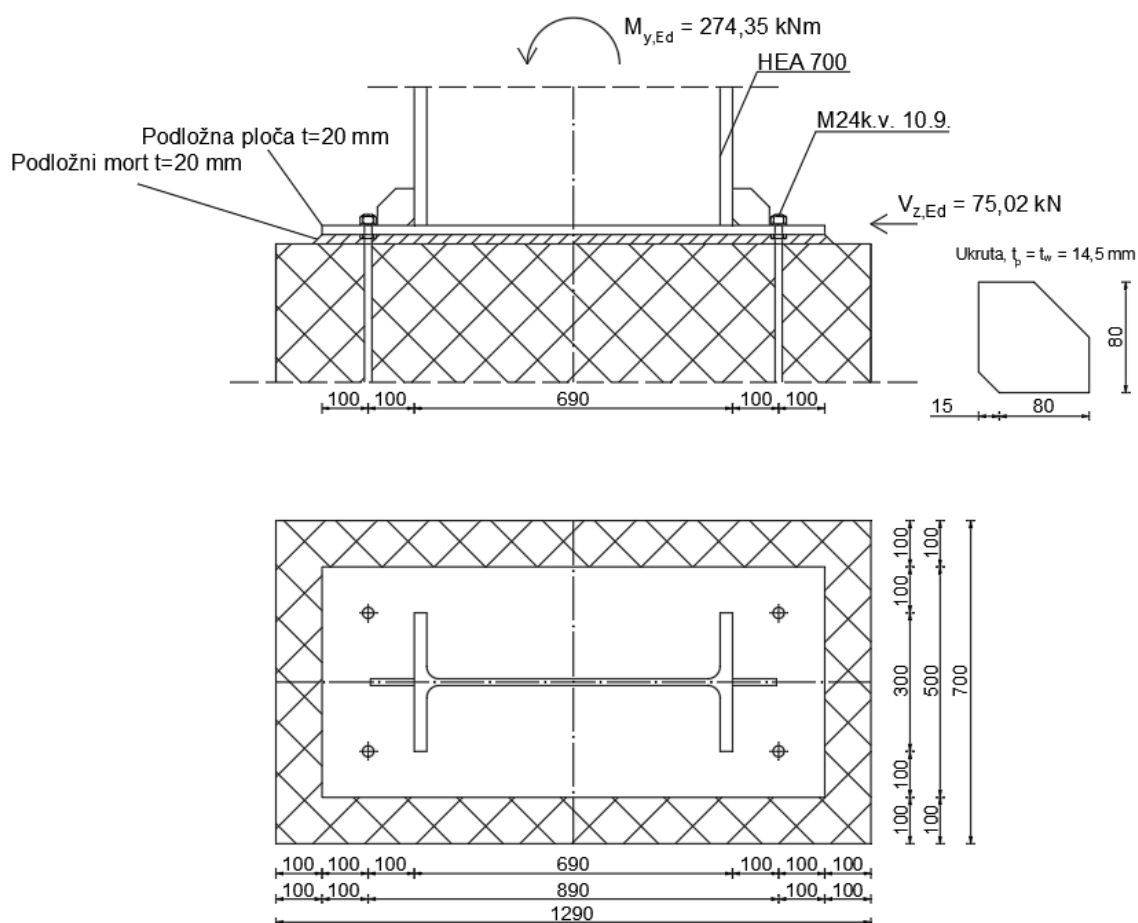
$$L/200 = 5430/200 = 27,15 \text{ mm}$$

$$\delta \leq L/200$$

$$2 \text{ mm} < 27,15 \text{ mm}$$

9. Proračun spojeva konstrukcije

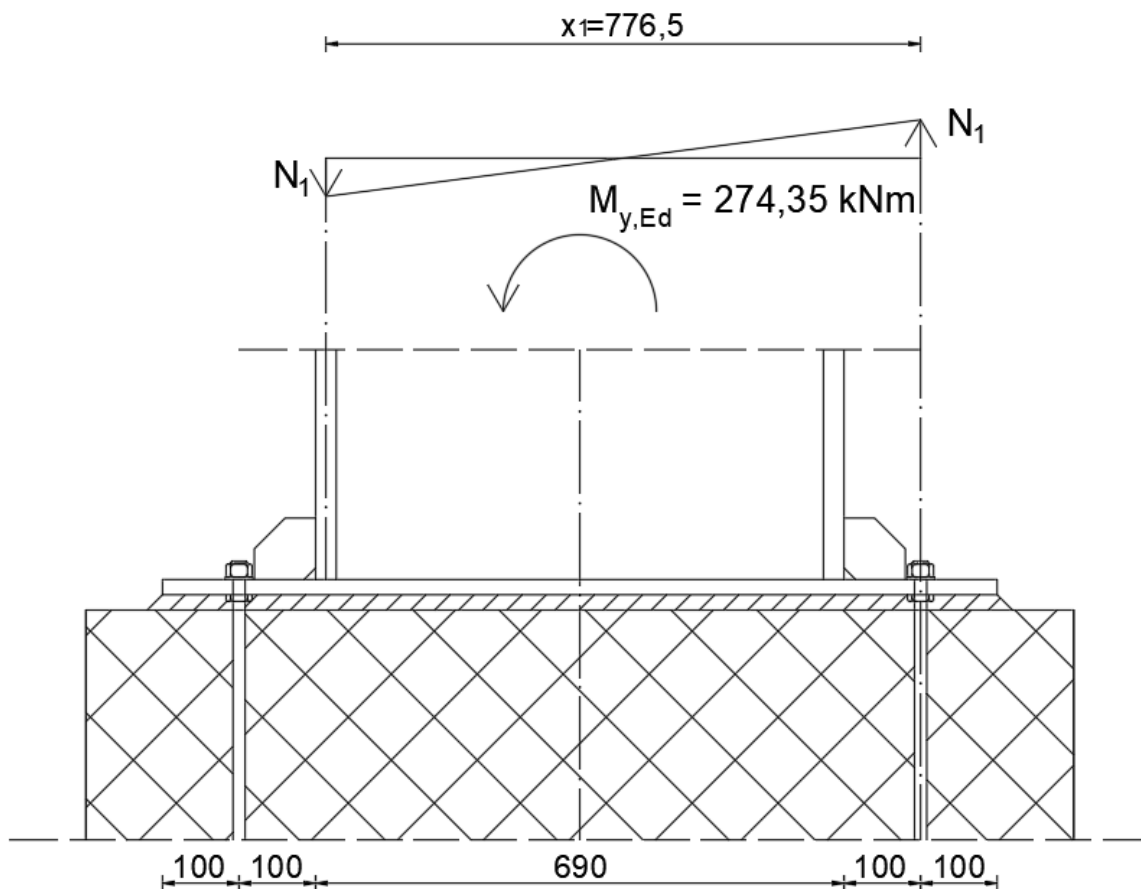
9.1. Spoj stupa HEA 700 s AB temeljom



Slika 61: Spoj stupa s AB temeljom sa silama i momentima koji djeluju na njega

Karakteristike vijaka M24 kv.10.9.		
d	24	mm
d ₀	26	mm
A _s	353	mm ²
f _{ub}	1000	N/mm ²
f _{yb}	900	N/mm ²
Karakteristike poprečnog presjeka		
h	690	mm
b	300	mm
t _f	14,5	mm
t _w	27	mm
r	27	mm

9.1.1. Otpornost vijaka



Slika 62: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_1 \times x_1$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{274,35}{0,7765} = 353,316 \text{ kN}$$

$$x_1 = 690 + 100 - \frac{t_f}{2} = 690 + 100 - \frac{27}{2} = 776,5 \text{ mm} = 0,7765 \text{ m}$$

Otpornost vijaka na posmik (odrez)

4 vijak, 1 rezna površina

Rezna površina prolazi kroz tijelo vijka s navojem

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 vijak i 1 reznju površinu)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \text{ (k.v.10.9.)}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na spoju:

$n = 4$ – broj vijaka

$m = 1$ – broj reznih površina

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \times m \times F_{v,Rd}$$

$$\overline{F_{v,Rd}} = 4 \times 1 \times 141,2 = 564,8 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}}$$

$$75,02 \text{ kN} < 564,8 \text{ kN}$$

$$\frac{75,02}{564,8} = 0,13 \text{ (13\%)}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 rupu)}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{100}{26} - 1,7; 2,5 \right) = \min(9,07; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{100}{3 \times 26}; \frac{1000}{430}; 1 \right) = \min(1,28; 2,33; 1)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$d = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm}$$

$$t = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 43,0 \times 2,4 \times 2,0}{1,25} = 412,8 \text{ kN}$$

Ukupna otpornosti:

$$\overline{F_{b,Rd}} = 4 \times F_{b,Rd}$$

$$\overline{F_{b,Rd}} = 4 \times 412,8 = 1651,2 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{b,Rd}}$$

$$75,02 \text{ kN} < 1651,2 \text{ kN}$$

$$\frac{75,02}{1651,2} = 0,05 \text{ (5\%)}$$

Otpornosti vijaka na vlak:

2 vijaka

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost jednog vlačnog vijaka)}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

Otpornost za dva vlačna vijaka u spoju:

$$\overline{F_{t,Rd}} = 2 \times F_{t,Rd}$$

$$\overline{F_{t,Rd}} = 2 \times 254,16 = 508,32 \text{ kN}$$

Uvjet nosivost spoja:

$$N_1 \leq \overline{F_{t,Rd}}$$

$$353,316 \text{ kN} < 508,32 \text{ kN}$$

$$\frac{353,316}{508,32} = 0,70 \text{ (70\%)}$$

Interakcija posmika (odreza) i vlaka:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \text{ (interakcija za jedan vijak)}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{75,02}{4} = 18,755 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 141,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{2} = \frac{353,316}{2} = 176,58 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

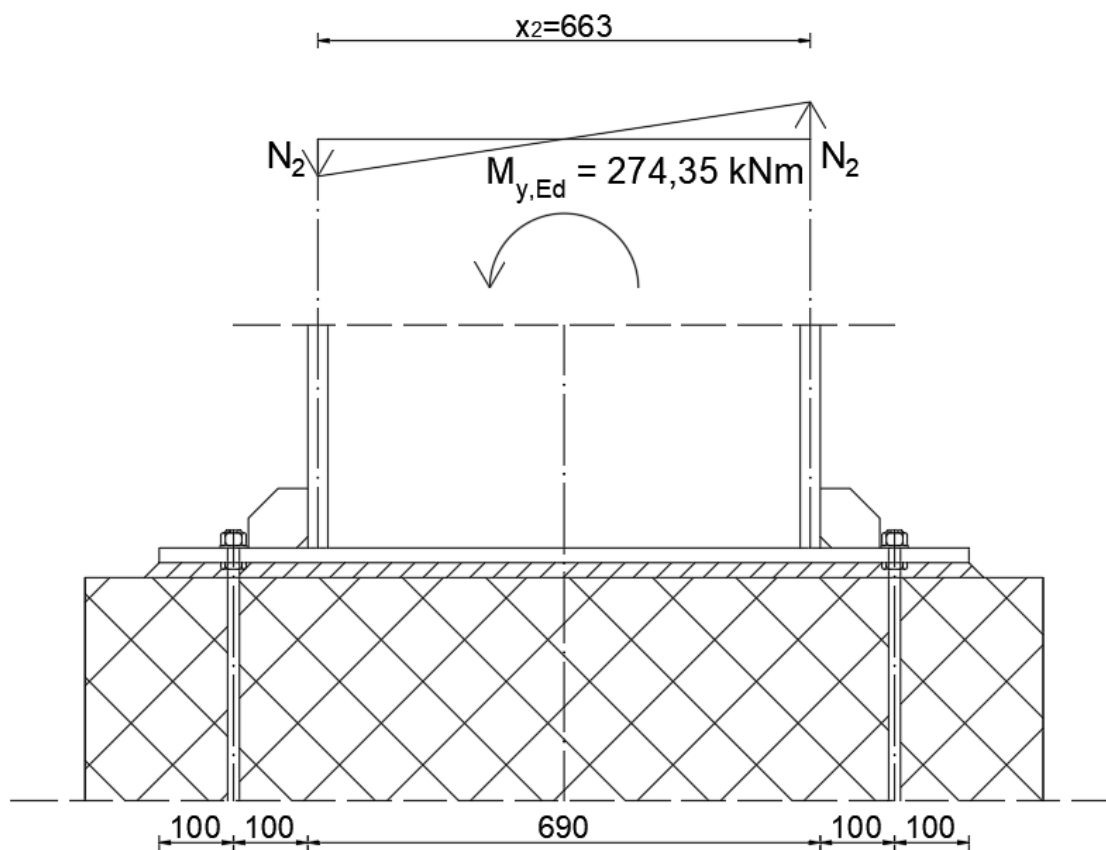
$$\frac{18,755}{141,2} + \frac{176,58}{1,4 \times 254,16} \leq 1$$

0,63 < 1 (63%) → Vijci zadovoljavaju nosivost!

Tablica 12: Postupak određivanja računске otpornosti za jedan vijak

Način otkazivanja	Otpornost za jedan vijak
otpornost na posmik	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$ <p>1) kada posmična površina prolazi kroz dio vijka s navojem (A je vlačna površina vijka A_s) $\alpha_v = 0,6$ — za k.v. 4.6, 5.6 i 8.8 $\alpha_v = 0,5$ — za k.v. 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9.</p> <p>2) kada posmična površina prolazi kroz dio vijka bez navoja (A je ukupna površina poprečnog presjeka vijka) $\alpha_v = 0,6$</p>
otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_s \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$ $\alpha_s = \min\left(\alpha_t; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right)$ <p>Koeficijent α_t (u smjeru natezanja)</p> <ul style="list-style-type: none"> - za krajnje vijke : $\alpha_t = \frac{e_1}{3d_0}$ - za unutarnje vijke : $\alpha_t = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ <p>Koeficijent k_1 (okomito na smjer natezanja)</p> <ul style="list-style-type: none"> - za krajnje vijke : $k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$ - za unutarnje vijke : $k_1 = \min\left(1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$
otpornost na vlak	$F_{td,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>$k_2 = 0,63$ — za vijke s upuštenom glavom $k_2 = 0,90$ — za ostale vijke</p>
interakcija posmika i vlaka	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$

9.1.2. Proračun zavarenog spoja



Slika 63: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_2 \times x_2$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{274,35}{0,663} = 413,801 \text{ kN}$$

$$x_2 = h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_f}{2} = 690 - \frac{27}{2} - \frac{27}{2} = 663 \text{ mm} = 0,663 \text{ m}$$

Ukupno djelovanje na zavar:

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2}$$

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{75,02}{2}\right)^2 + 413,801^2} = 415,498 \text{ kN}$$

Otpornost 1 cm zavora:

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$a = 5 \text{ mm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\beta_w = 0,85$$

$$F_{w,Rd} = \frac{43 \cdot 0,5}{\sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 1,25} = 11,683 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost zavora:

$$\overline{F}_{w,Rd} = F_{w,Rd} \times \Sigma L$$

$$\Sigma L = b + (b - t_w - 2r) + 2(80 - 15)$$

$$\Sigma L = 300 + (300 - 14,5 - 2 \times 27) + 2(80 - 15) = 661,5 \text{ mm} = 66,15 \text{ cm}$$

$$\overline{F}_{w,Rd} = 11,683 \times 66,15 = 772,830 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$F_{w,Ed} \leq \overline{F}_{w,Rd}$$

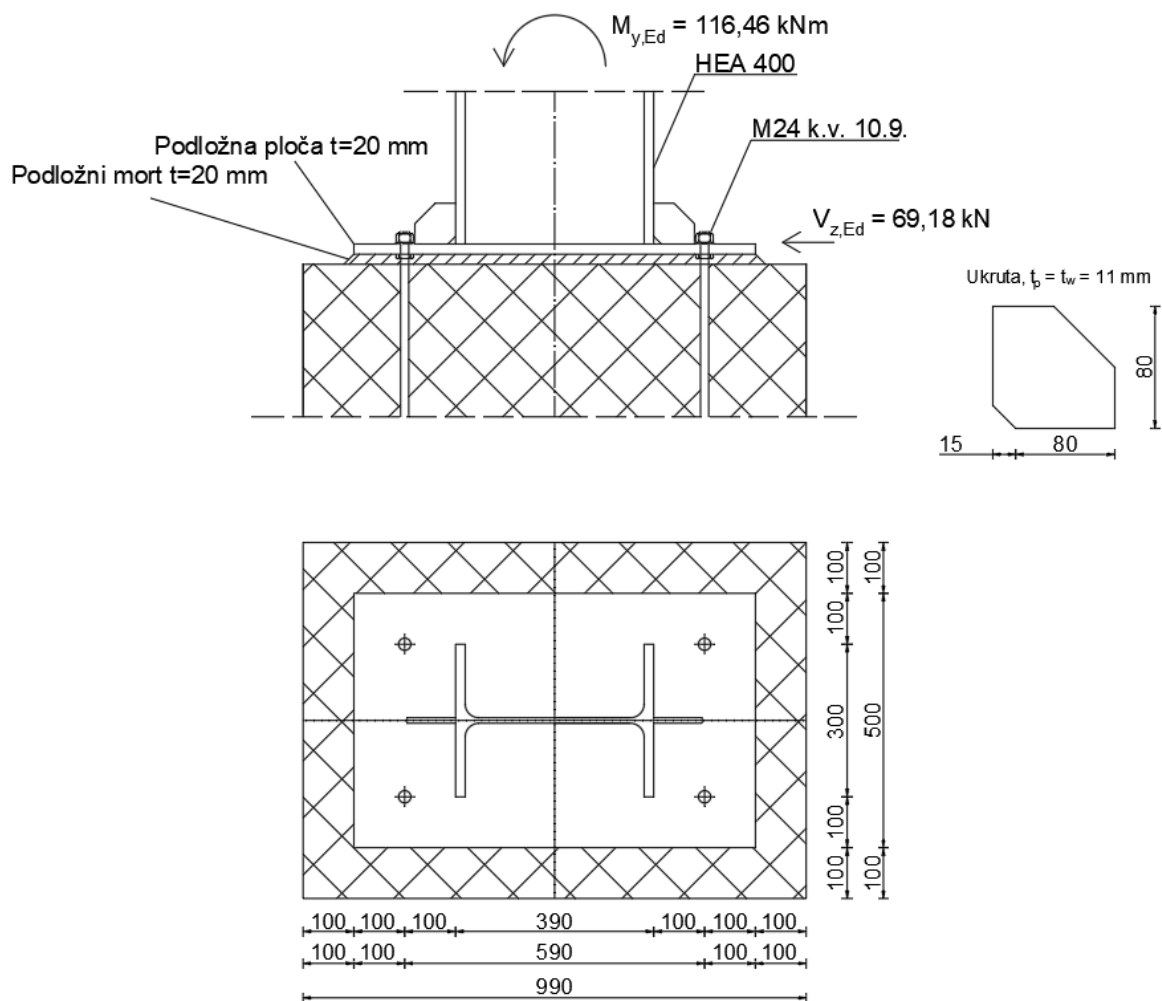
$$415,498 \text{ kN} < 772,830 \text{ kN}$$

$$\frac{334,919}{772,830} = 0,43 \text{ (43\%)} \rightarrow \text{Zavar je zadovoljno nosivost!}$$

Tablica 13: Vrijednosti korelacijskih koeficijenta β_w

Norma i kvaliteta čelika			Korelacijski koeficijent β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S235 S235 W	S235 H	S 235 H	0,80
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 255 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,90
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

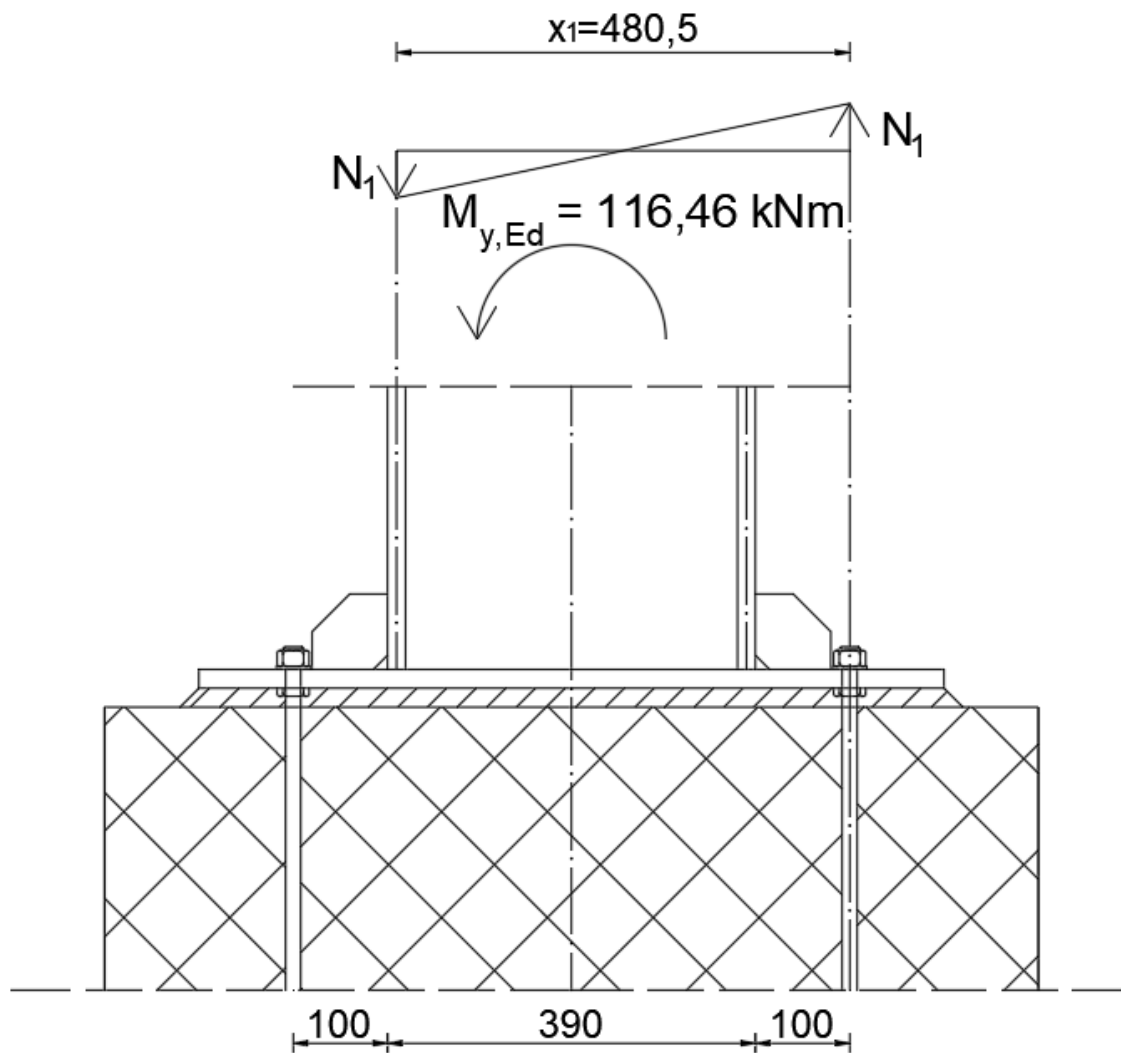
9.2. Spoj stupa HEA 400 s AB temeljom



Slika 64: Spoj stupa s AB temeljom sa silama i momentima koji djeluju na njega

Karakteristike vijaka M24 kv.10.9.		
d	24	mm
d ₀	26	mm
A _s	353	mm ²
f _{ub}	1000	N/mm ²
f _{yb}	900	N/mm ²
Karakteristike poprečnog presjeka		
h	390	mm
b	300	mm
t _f	19	mm
t _w	11	mm
r	27	mm

9.2.1. Otpornost vijaka



Slika 65: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_1 \times x_1$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{116,46}{0,4805} = 242,373 \text{ kN}$$

$$x_1 = 390 + 100 - \frac{t_f}{2} = 390 + 100 - \frac{19}{2} = 480,5 \text{ mm} = 0,4805 \text{ m}$$

Otpornost vijaka na posmik (odrez)

4 vijak, 1 rezna površina

Rezna površina prolazi kroz tijelo vijka s navojem

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 vijak i 1 reznu površinu)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \text{ (k.v.10.9.)}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = A_S = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na spoju:

$$n = 4 - \text{broj vijaka}$$

$$m = 1 - \text{broj reznih površina}$$

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \times m \times F_{v,Rd}$$

$$\overline{F_{v,Rd}} = 4 \times 1 \times 141,2 = 564,8 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}}$$

$$69,18 \text{ kN} < 564,8 \text{ kN}$$

$$\frac{69,18}{564,8} = 0,12 \text{ (12\%)}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 rupu)}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{100}{26} - 1,7; 2,5 \right) = \min(9,07; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{100}{3 \times 26}; \frac{1000}{430}; 1 \right) = \min(1,28; 2,33; 1)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$d = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm}$$

$$t = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 43,0 \times 2,4 \times 2,0}{1,25} = 412,8 \text{ kN}$$

Ukupna otpornosti:

$$\overline{F}_{b,Rd} = 4 \times F_{b,Rd}$$

$$\overline{F}_{b,Rd} = 4 \times 412,8 = 1651,2 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F}_{b,Rd}$$

$$46,40 \text{ kN} < 1651,2 \text{ kN}$$

$$\frac{69,18}{1651,2} = 0,04 \text{ (4\%)}$$

Otpornosti vijaka na vlak:

2 vijaka

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost jednog vlačnog vijaka)}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

Otpornost za dva vlačna vijaka u spoju:

$$\overline{F}_{t,Rd} = 2 \times F_{t,Rd}$$

$$\overline{F}_{t,Rd} = 2 \times 254,16 = 508,32 \text{ kN}$$

Uvjet nosivost spoja:

$$N_1 \leq \overline{F}_{t,Rd}$$

$$242,373 \text{ kN} < 508,32 \text{ kN}$$

$$\frac{242,373}{508,32} = 0,48 \text{ (48\%)}$$

Interakcija posmika (odreza) i vlaka:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \text{ (interakcija za jedan vijak)}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{69,18}{4} = 17,295 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 141,2 \text{ kN}$$

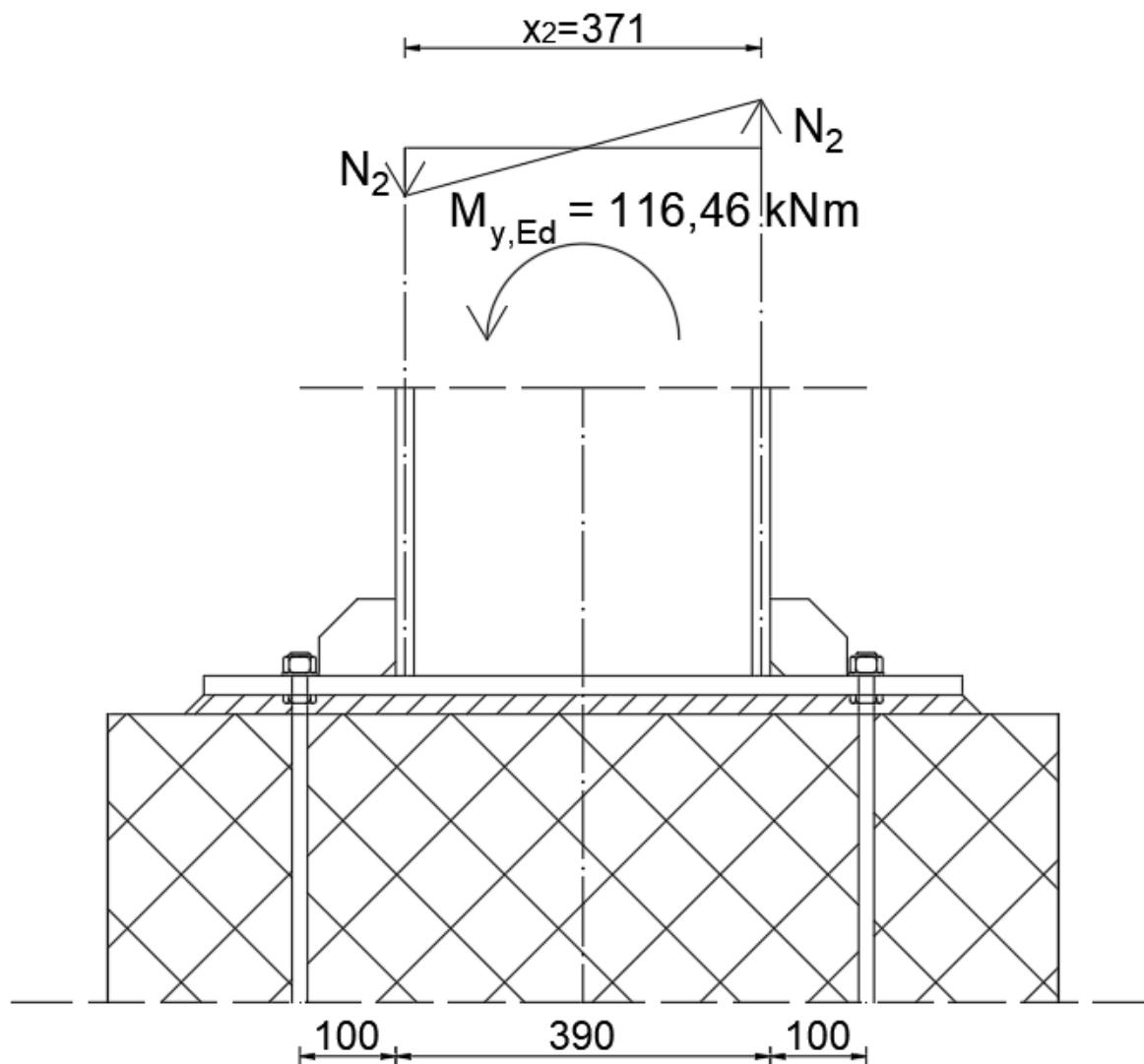
$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{2} = \frac{242,373}{2} = 121,187 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$\frac{17,295}{141,2} + \frac{121,187}{1,4 \times 254,16} \leq 1$$

0,46 < 1 (46%) → Vijci zadovoljavju nosivost!

9.2.2. Proračun zavarenog spoja



Slika 66: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_2 \times x_2$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{116,36}{0,371} = 313,639 \text{ kN}$$

$$x_2 = h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_f}{2} = 390 - \frac{19}{2} - \frac{19}{2} = 351 \text{ mm} = 0,351 \text{ m}$$

Ukupno djelovanje na zavar:

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2}$$

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{69,18}{2}\right)^2 + 313,639^2} = 315,541 \text{ kN}$$

Otpornost 1 cm zavora:

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}} a}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$a = 5 \text{ mm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\beta_w = 0,85$$

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3}} 0,5}{1,25} = 11,683 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost zavora:

$$\overline{F}_{w,Rd} = F_{w,Rd} \times \Sigma L$$

$$\Sigma L = b + (b - t_w - 2r) + 2(80 - 15)$$

$$\Sigma L = 300 + (300 - 11 - 2 \times 27) + 2(80 - 15) = 665 \text{ mm} = 66,5 \text{ cm}$$

$$\overline{F}_{w,Rd} = 11,683 \times 66,5 = 776,920 \text{ kN}$$

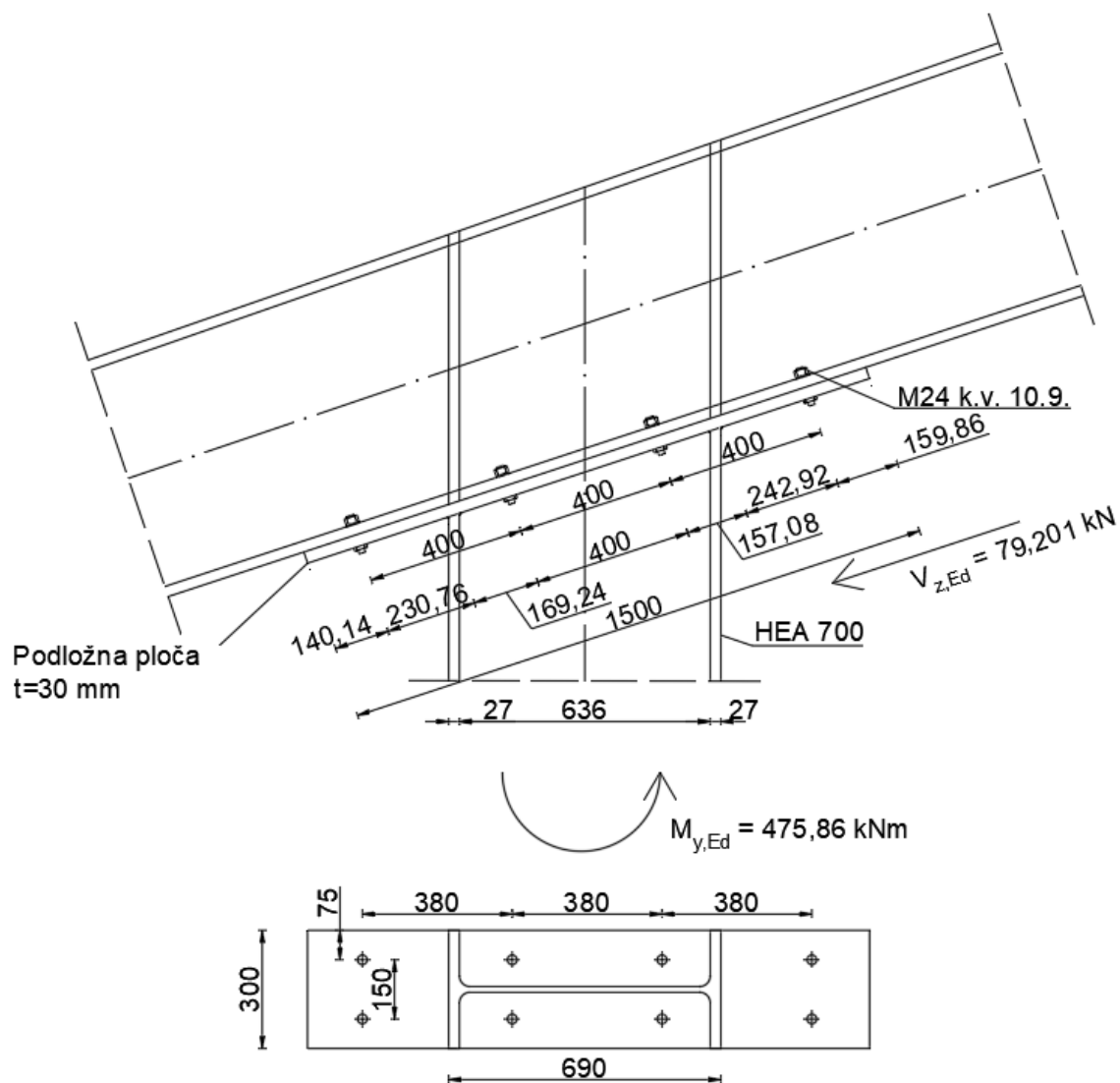
Uvjet nosivosti:

$$F_{w,Ed} \leq \overline{F}_{w,Rd}$$

$$315,541 \text{ kN} < 776,920 \text{ kN}$$

$$\frac{315,541}{776,920} = 0,41 \text{ (41\%)} \rightarrow \text{Zavar je zadovoljio nosivost!}$$

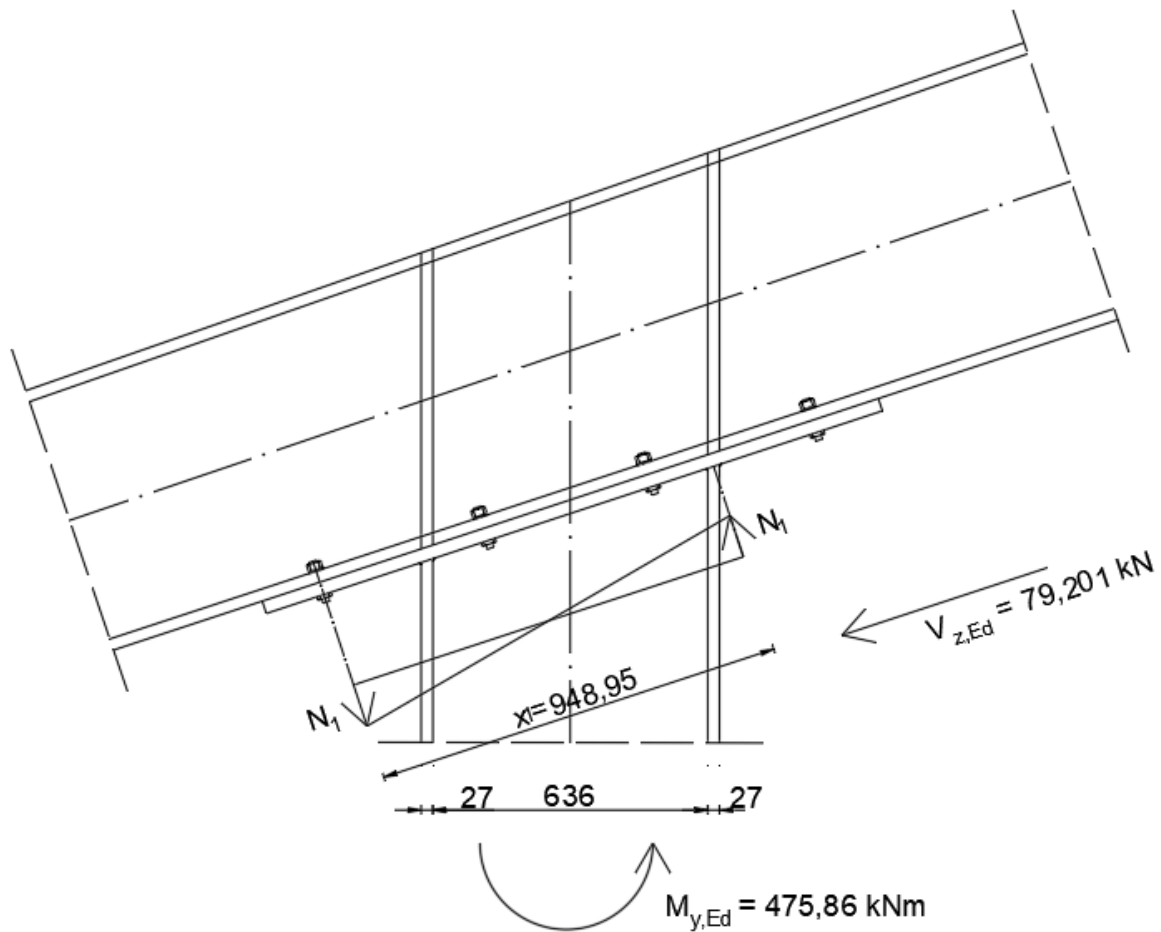
9.3. Spoj stupa HEA 700 s gredom



Slika 67: Spoj stupa s gredom sa silama i momentima koji djeluju na njega

Karakteristike vijaka M24 kv.10.9.		
d	24	mm
d ₀	26	mm
A _s	353	mm ²
f _{ub}	1000	N/mm ²
f _{yb}	900	N/mm ²
Karakteristike poprečnog presjeka		
h	690	mm
b	300	mm
t _f	27	mm
t _w	14,5	mm
r	27	mm

9.3.1. Otpornost vijaka



Slika 68: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_1 \times x_1$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{475,86}{0,949} = 501,433 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik (odrez)

8 vijak, 1 rezna površina

Rezna površina prolazi kroz tijelo vijka s navojem

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 vijak i 1 reznju površinu)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \text{ (k.v.10.9.)}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na spoju:

$n = 8$ – broj vijaka

$m = 1$ – broj reznih površina

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \times m \times F_{v,Rd}$$

$$\overline{F_{v,Rd}} = 8 \times 1 \times 141,2 = 1129,6 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}}$$

$$79,201 \text{ kN} < 1129,6 \text{ kN}$$

$$\frac{79,201}{1129,6} = 0,07 \text{ (7\%)}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 rupu)}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{75}{26} - 1,7; 2,5 \right) = \min(6,38; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{159,86}{3 \times 26}; \frac{1000}{430}; 1 \right) = \min(2,049; 2,33; 1)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$d = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm}$$

$$t = \min(t_r; t_p) = \min(27; 30) = 27 \text{ mm} = 2,7 \text{ cm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 43,0 \times 2,4 \times 2,7}{1,25} = 557,280 \text{ kN}$$

Ukupna otpornosti:

$$\overline{F_{b,Rd}} = 8 \times F_{b,Rd}$$

$$\overline{F_{b,Rd}} = 8 \times 557,280 = 4458,24 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{b,Rd}}$$

$$79,201 \text{ kN} < 4458,24 \text{ kN}$$

$$\frac{79,201}{4458,24} = 0,02 \text{ (2\%)}$$

Otpornosti vijaka na vlak:

4 vijaka

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost jednog vlačnog vijaka)}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

Otpornost za četiri vlačna vijaka u spoju:

$$\overline{F_{t,Rd}} = 4 \times F_{t,Rd}$$

$$\overline{F_{t,Rd}} = 4 \times 254,16 = 1016,640 \text{ kN}$$

Uvjet nosivost spoja:

$$N_1 \leq \overline{F_{t,Rd}}$$

$$501,433 \text{ kN} < 1016,640 \text{ kN}$$

$$\frac{501,433}{1016,640} = 0,49 \text{ (49\%)}$$

Interakcija posmika (odreza) i vlaka:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \text{ (interakcija za jedan vijak)}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{8} = \frac{79,201}{8} = 9,90 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 141,2 \text{ kN}$$

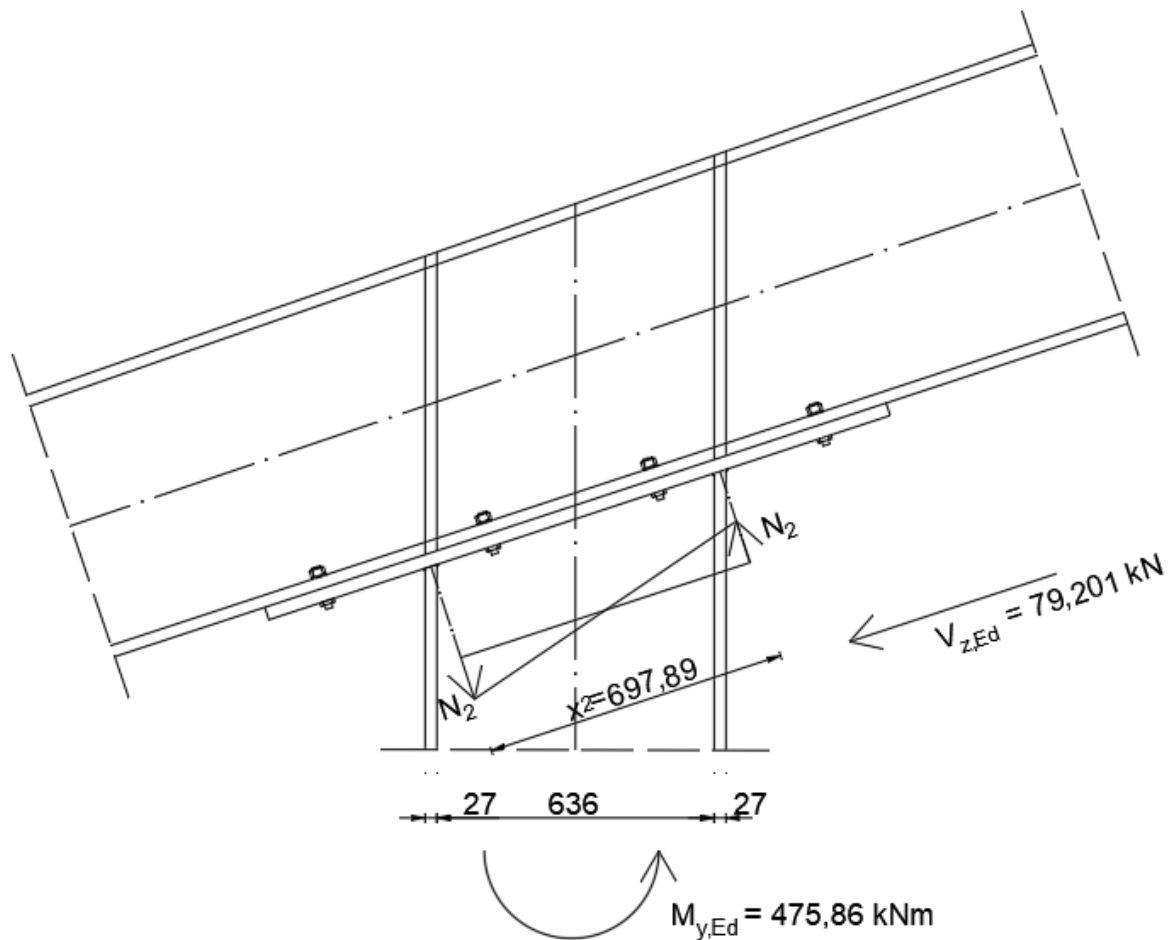
$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{4} = \frac{501,433}{4} = 125,358 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$\frac{9,90}{141,2} + \frac{125,358}{1,4 \times 254,16} \leq 1$$

0,42 < 1 (42%) → Vijci zadovoljavaju nosivost!

9.3.2. Proračun zavarenog spoja



Slika 69: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_2 \times x_2$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{475,86}{0,698} = 681,748 \text{ kN}$$

Ukupno djelovanje na zavar:

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2}$$

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{79,201}{2}\right)^2 + 681,748^2} = 682,897 \text{ kN}$$

Otpornost 1 cm zavora:

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}} a}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$a = 7 \text{ mm} = 0,7 \text{ cm}$$

$$\beta_w = 0,85$$

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3}} 0,7}{1,25} = 16,359 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost zavora:

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} \times \Sigma L$$

$$\Sigma L = b + (b - t_w - 2r)$$

$$\Sigma L = 300 + (300 - 14,5 - 2 \times 27) = 531,5 \text{ mm} = 53,15 \text{ cm}$$

$$\overline{F_{w,Rd}} = 16,359 \times 53,15 = 869,481 \text{ kN}$$

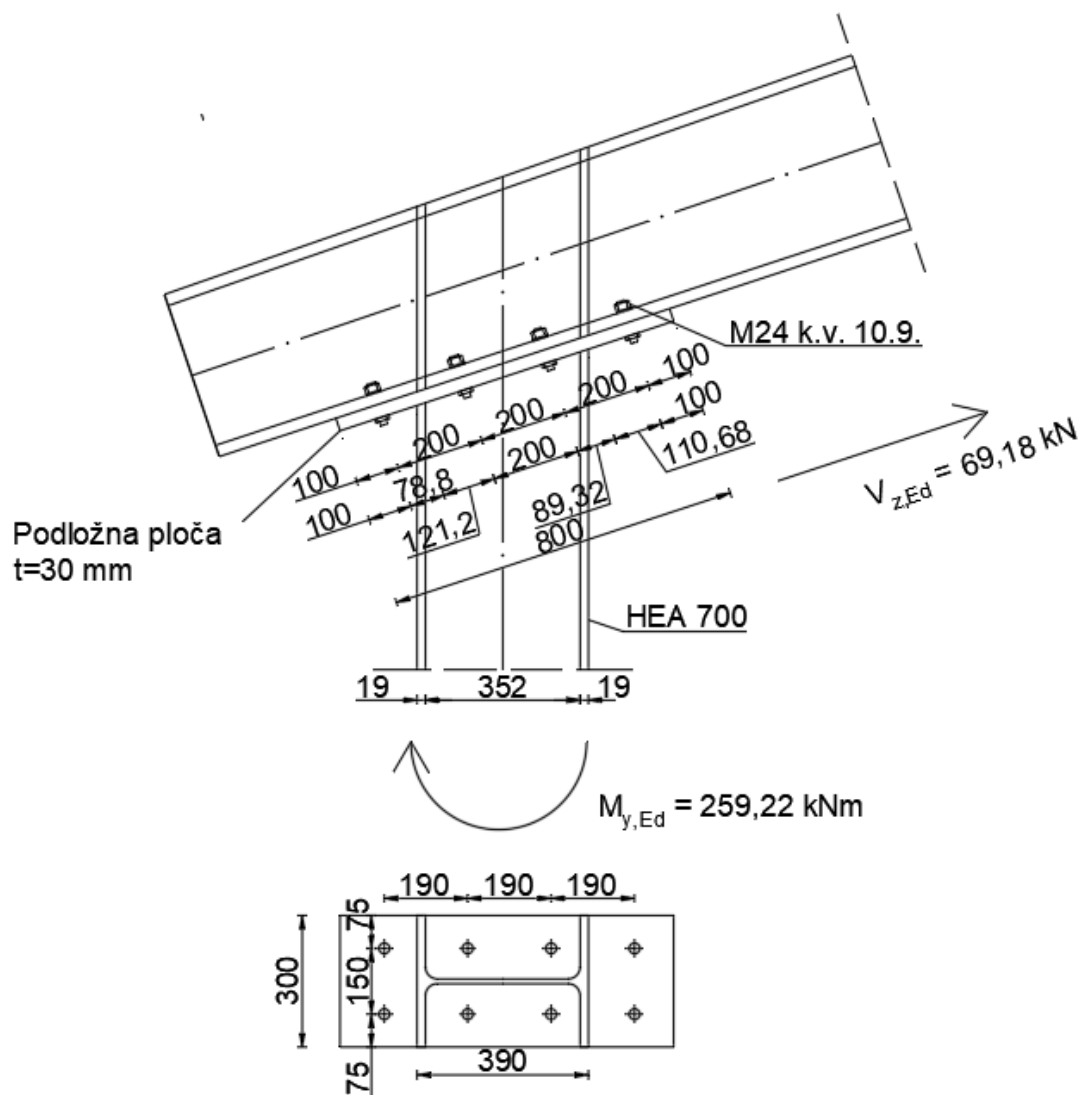
Uvjet nosivosti:

$$F_{w,Ed} \leq \overline{F_{w,Rd}}$$

$$682,897 \text{ kN} < 869,481 \text{ kN}$$

$$\frac{682,897}{869,481} = 0,79 \text{ (79\%)} \rightarrow \text{Zavar je zadovoljio nosivost!}$$

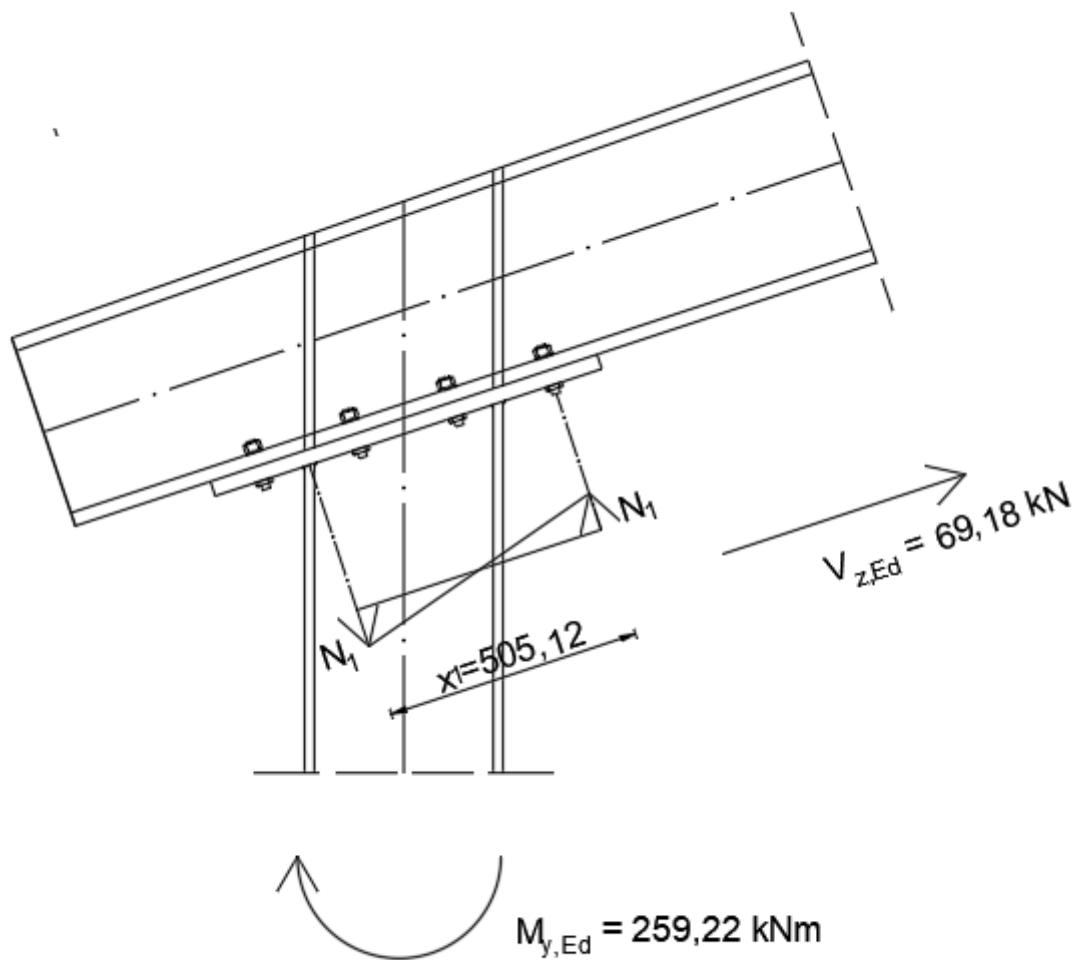
9.4. Spoj stupa HEA 400 s gredom



Slika 70: Spoj stupa s gredom sa silama i momentima koji djeluju na njega

Karakteristike vijaka M24 kv.10.9.		
d	24	mm
d ₀	26	mm
A _s	353	mm ²
f _{ub}	1000	N/mm ²
f _{yb}	900	N/mm ²
Karakteristike poprečnog presjeka		
h	390	mm
b	300	mm
t _f	19	mm
t _w	11	mm
r	27	mm

9.4.1. Otpornost vijaka



Slika 71: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_1 \times x_1$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{259,22}{0,505} = 513,307 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik (odrez)

8 vijak, 1 rezna površina

Rezna površina prolazi kroz tijelo vijaka s navojem

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 vijak i 1 reznu površinu)}$$

$$\alpha_v = 0,5 \text{ (k.v.10.9.)}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na spoju:

$$n = 8 - \text{broj vijaka}$$

$$m = 1 - \text{broj reznih površina}$$

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \times m \times F_{v,Rd}$$

$$\overline{F_{v,Rd}} = 8 \times 1 \times 141,2 = 1129,6 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}}$$

$$69,18 \text{ kN} < 1129,6 \text{ kN}$$

$$\frac{69,18}{1129,6} = 0,06 \text{ (6\%)}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost za 1 rupu)}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \times \frac{75}{26} - 1,7; 2,5 \right) = \min(6,38; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{100}{3 \times 26}; \frac{1000}{430}; 1 \right) = \min(1,28; 2,33; 1)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$d = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm}$$

$$t = \min(t_f; t_p) = \min(27; 30) = 27 \text{ mm} = 2,7 \text{ cm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 43,0 \times 2,4 \times 2,7}{1,25} = 557,280 \text{ kN}$$

Ukupna otpornosti:

$$\overline{F}_{b,Rd} = 8 \times F_{b,Rd}$$

$$\overline{F}_{b,Rd} = 8 \times 557,280 = 4458,24 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F}_{b,Rd}$$

$$69,18 \text{ kN} < 4458,24 \text{ kN}$$

$$\frac{69,18}{4458,24} = 0,02 \text{ (2\%)}$$

Otpornosti vijaka na vlak:

4 vijaka

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \text{ (otpornost jednog vlačnog vijaka)}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 100 \times 3,53}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

Otpornost za četiri vlačna vijaka u spoju:

$$\overline{F}_{t,Rd} = 4 \times F_{t,Rd}$$

$$\overline{F}_{t,Rd} = 4 \times 254,16 = 1016,640 \text{ kN}$$

Uvjet nosivost spoja:

$$N_1 \leq \overline{F}_{t,Rd}$$

$$513,307 \text{ kN} < 1016,640 \text{ kN}$$

$$\frac{513,307}{1016,640} = 0,50 \text{ (50\%)}$$

Interakcija posmika (odreza) i vlaka:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \text{ (interakcija za jedan vijak)}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{8} = \frac{69,18}{8} = 8,648 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 141,2 \text{ kN}$$

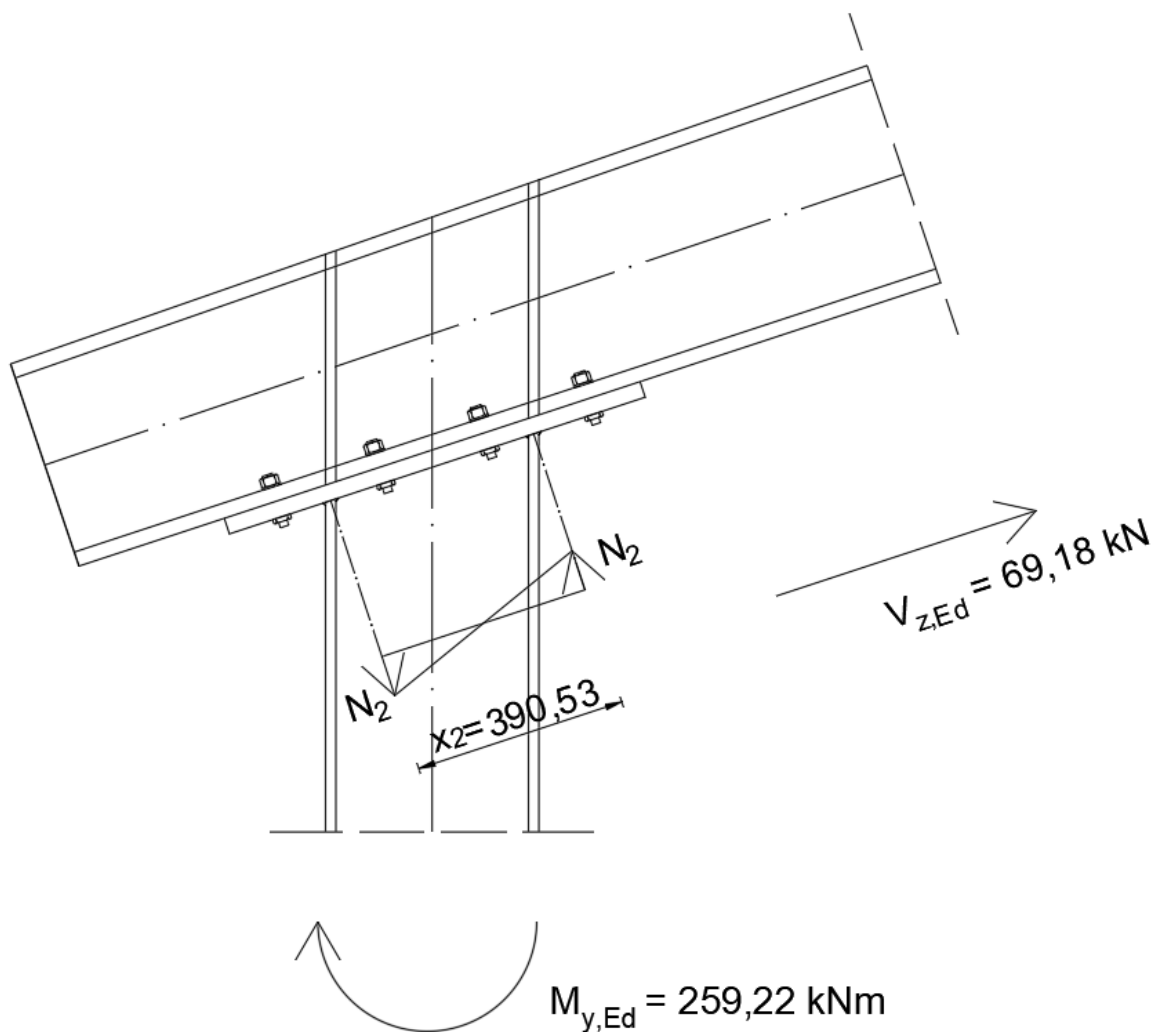
$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{4} = \frac{513,307}{4} = 128,327 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$\frac{8,648}{141,2} + \frac{128,327}{1,4 \times 254,16} \leq 1$$

0,42 < 1 (42%) → Vijci zadovoljavaju nosivost!

9.4.2. Proračun zavarenog spoja



Slika 72: Djelovanje vlačne sile od momenta savijanja

$$M_{y,Ed} = N_2 \times x_2$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{259,22}{0,391} = 662,967 \text{ kN}$$

Ukupno djelovanje na zavar:

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2}$$

$$F_{w,Rd} = \sqrt{\left(\frac{69,18}{2}\right)^2 + 662,967^2} = 663,869 \text{ kN}$$

Otpornost 1 cm zavara:

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}} a}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \text{ (S275)}$$

$$a = 7 \text{ mm} = 0,7 \text{ cm}$$

$$\beta_w = 0,85$$

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3}} 0,7}{1,25} = 16,356 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost zavara:

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} \times \Sigma L$$

$$\Sigma L = b + (b - t_w - 2r)$$

$$\Sigma L = 300 + (300 - 11 - 2 \times 27) = 535 \text{ mm} = 53,5 \text{ cm}$$

$$\overline{F_{w,Rd}} = 16,356 \times 53,5 = 875,046 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$F_{w,Ed} \leq \overline{F_{w,Rd}}$$

$$663,869 \text{ kN} < 875,046 \text{ kN}$$

$$\frac{663,869}{875,046} = 0,76 \text{ (76\%)} \rightarrow \text{Zavar je zadovoljio nosivost!}$$

10. Zaključak

U radu je proveden proračun čelične konstrukcije nadstrešnice sa solarnim panelima. Prije samog proračuna bilo je potrebno odrediti dimenzije konstrukcije kako bi bilo omogućeno kretanje autobusa i putnika uz autobus. Modeliranje je bilo provedeno u programu "Robot Structural Analysis Professional". Provedena je analiza djelovanja, u kojoj su definirana stalna djelovanja od vlastite težine konstrukcije te solarnih panela, i promjenjiva djelovanja snijega i vjetra. Provedenom analizom djelovanja dobivene su mjerodavne proračunske kombinacije za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Zatim je provedeno dimenzioniranje kritičnih glavnih elemenata konstrukcije prema graničnom stanju nosivosti i uporabljivosti. Proračunati su i detalji spajanja glavnog nosača na stupove i detalji spajanja stupova na temelj. Spojevi su izvedeni kombinacijom vijaka i zavora.

11. Literatura

- [1] Androić B., Dujmović D., Džeba I., Čelične konstrukcije 1, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.
- [2] Androić B., Dujmović D., Džeba I., Čelične konstrukcije 2, IA Projektiranje, Zagreb, 2007.
- [3] Krolo P., Materijali s predavanja i vježbi, Osnove čeličnih konstrukcija, Građevinski fakultet, sveučilište u Rijeci, 2024.

Slike:

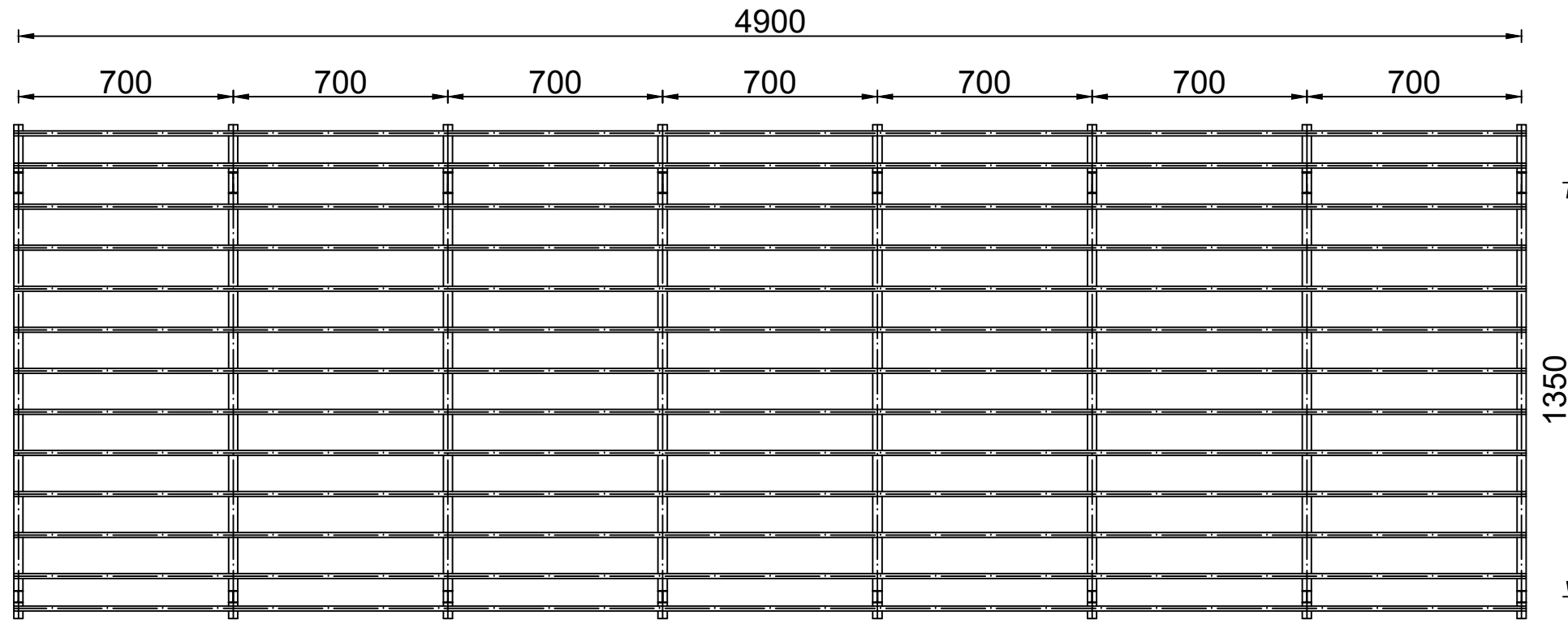
- [4] <https://www.auto-nadstresnice.hr/konzolne-nadstresnice.html>
- [5] <https://www.bauhaus.hr/jednostruke-nadstresnice/nadstresnica-za-auto/p/22933818>
- [6] <https://www.scribd.com/document/378551648/Dimenzije-Parkinga-Za-Kamione>

Web stranice:

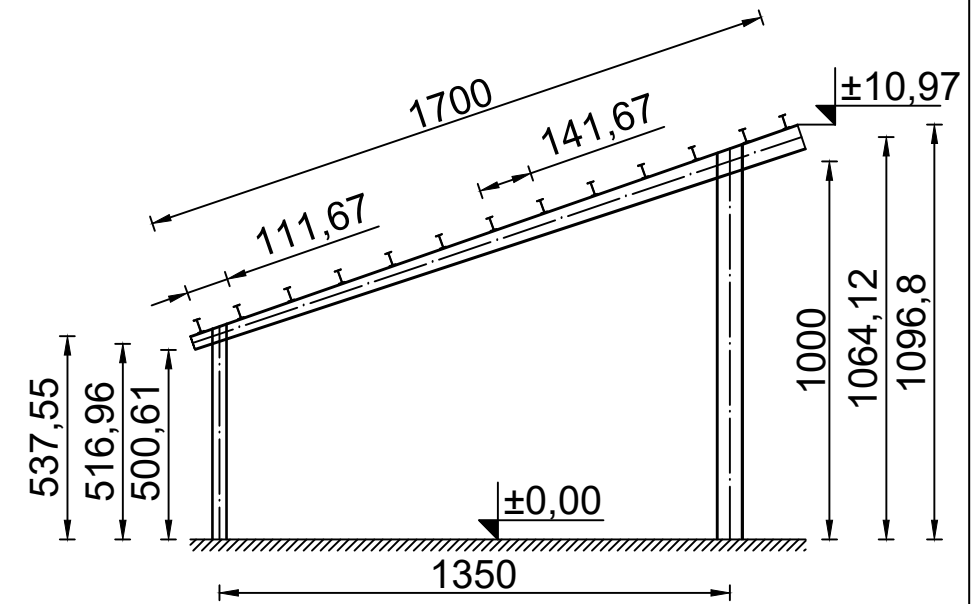
- [7] <https://www.dlubal.com/en>
- [8] <https://skyciv.com/>
- [9] [Torsional Constant Calculator \(omnicalculator.com\)](https://www.omnicalculator.com/physics/torsion)
- [10] <https://odulsunreliance.com/>
- [11] <https://shopsolarkits.com/pages/solar-panel-tilt-angle-calculator>
- [12] <https://www.prometna-zona.com/autobusi/>
- [13] <http://www.vulovicgroup.com/proizvodi/autobusi/>

12. Nacrti

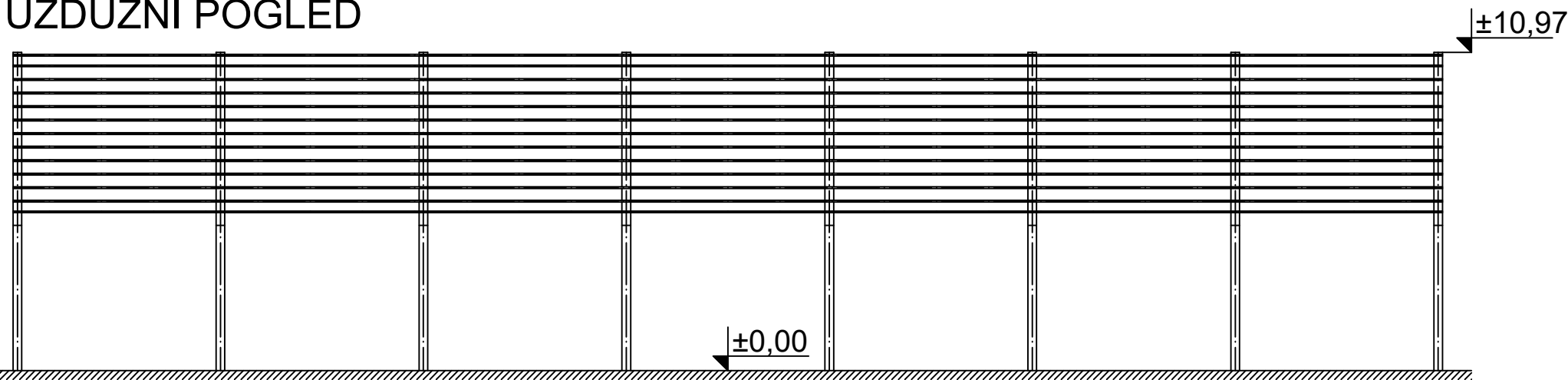
TLOCRT



POGLED

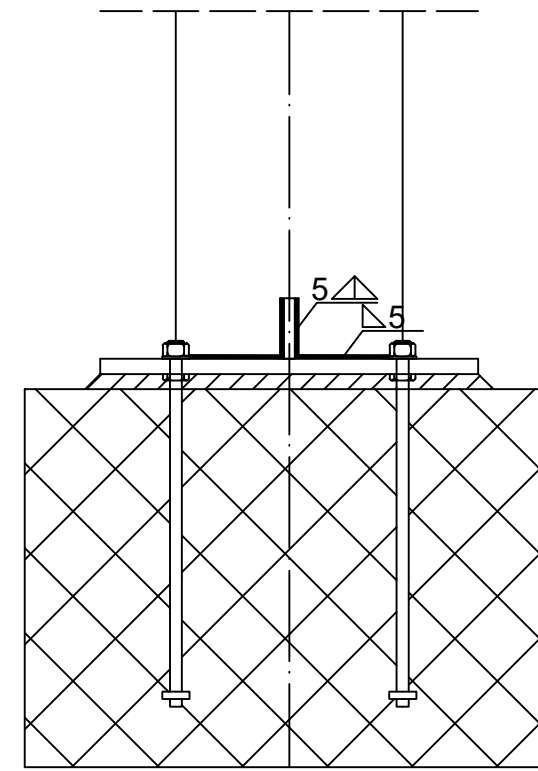
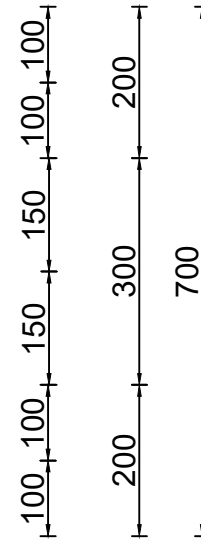
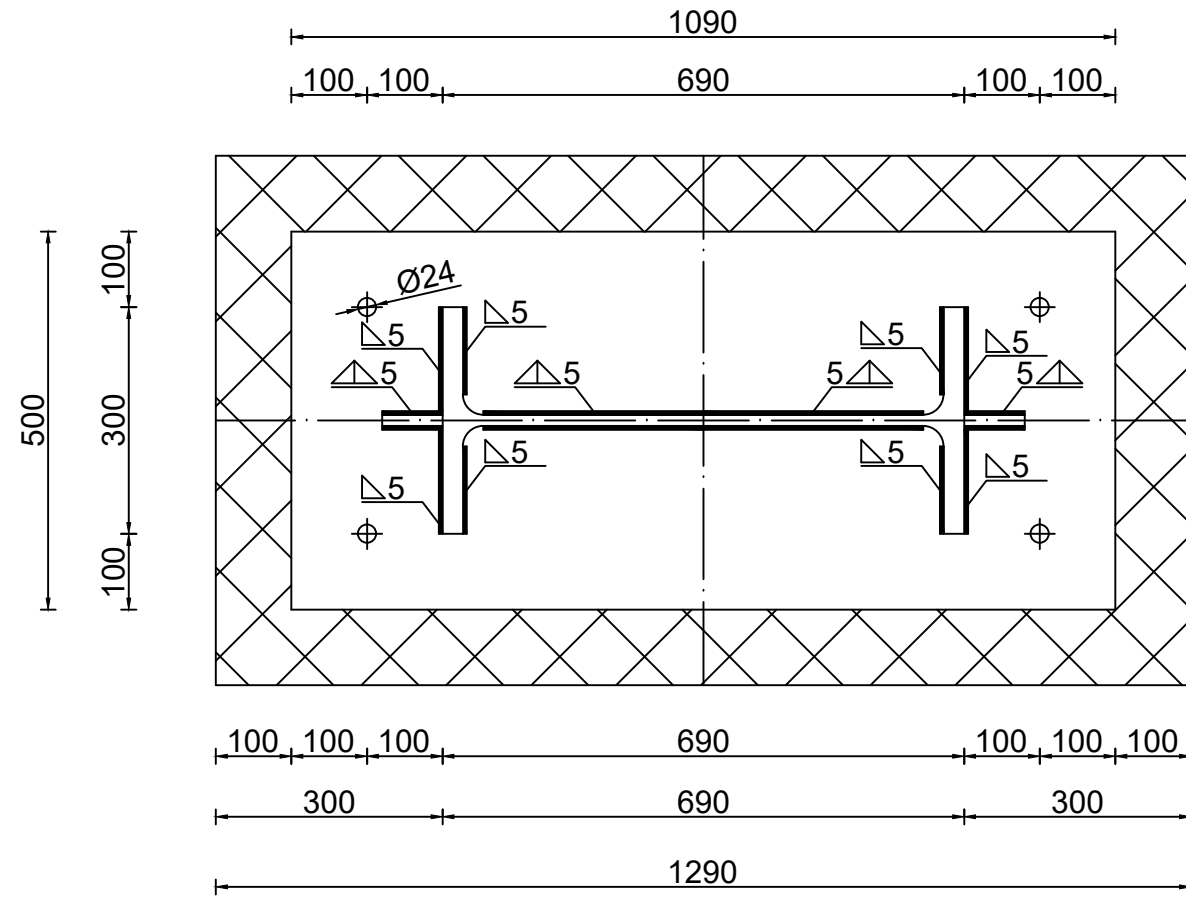


UZDUŽNI POGLED

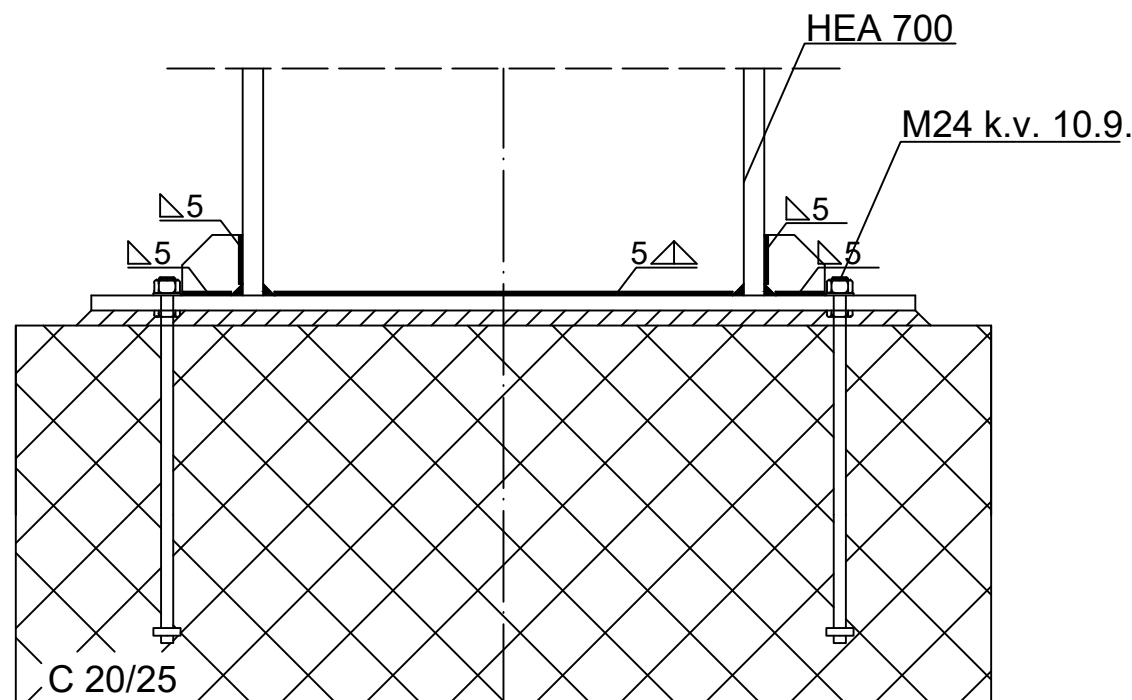
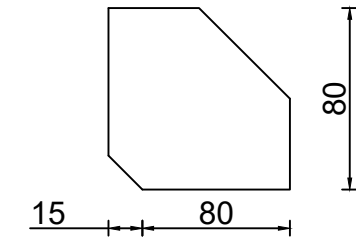


G F	Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci		
	Kolegij	Osnove čeličnih konstrukcija	Ak. god.
Sadržaj nacrt	Dispozicija čelične nadstrešnice		2023/2024
Izradio	Mateo Osojnak	Mjerilo:	1:200
Mentorica	doc.dr.sc. Paulina Krolo, dipl.ing.građ.	List:	1

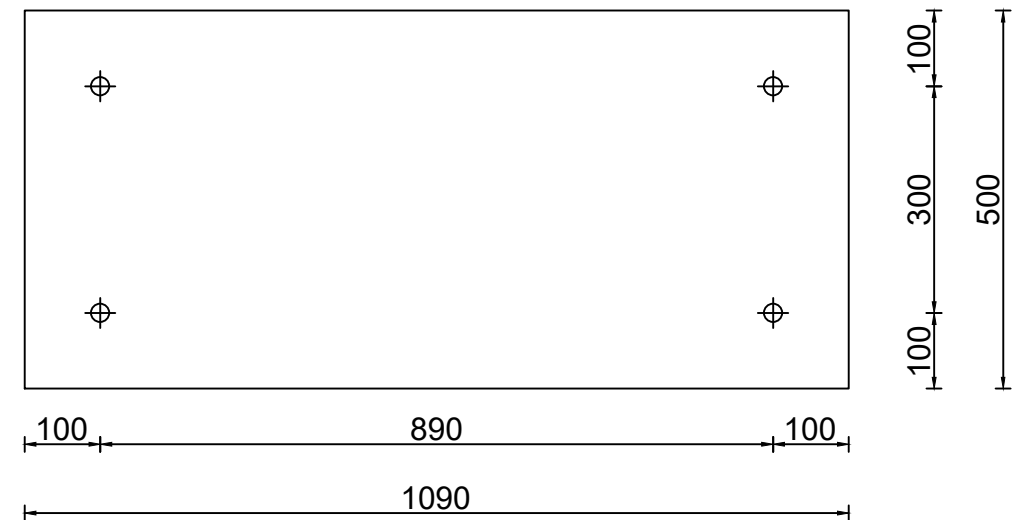
DETALJ SPOJA STUPA HEA 700 NA TEMELJ M 1:10



DIMENZIJE UKRUTE

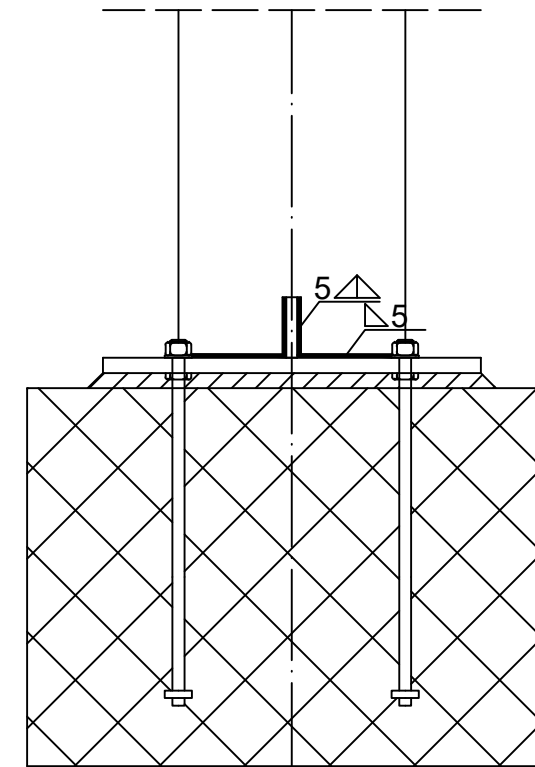
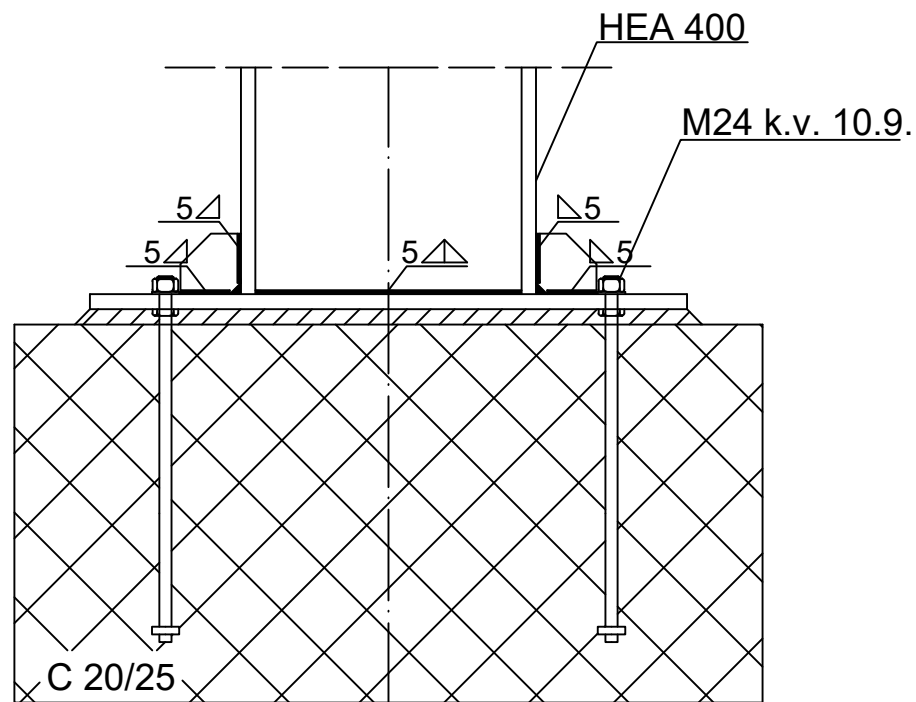
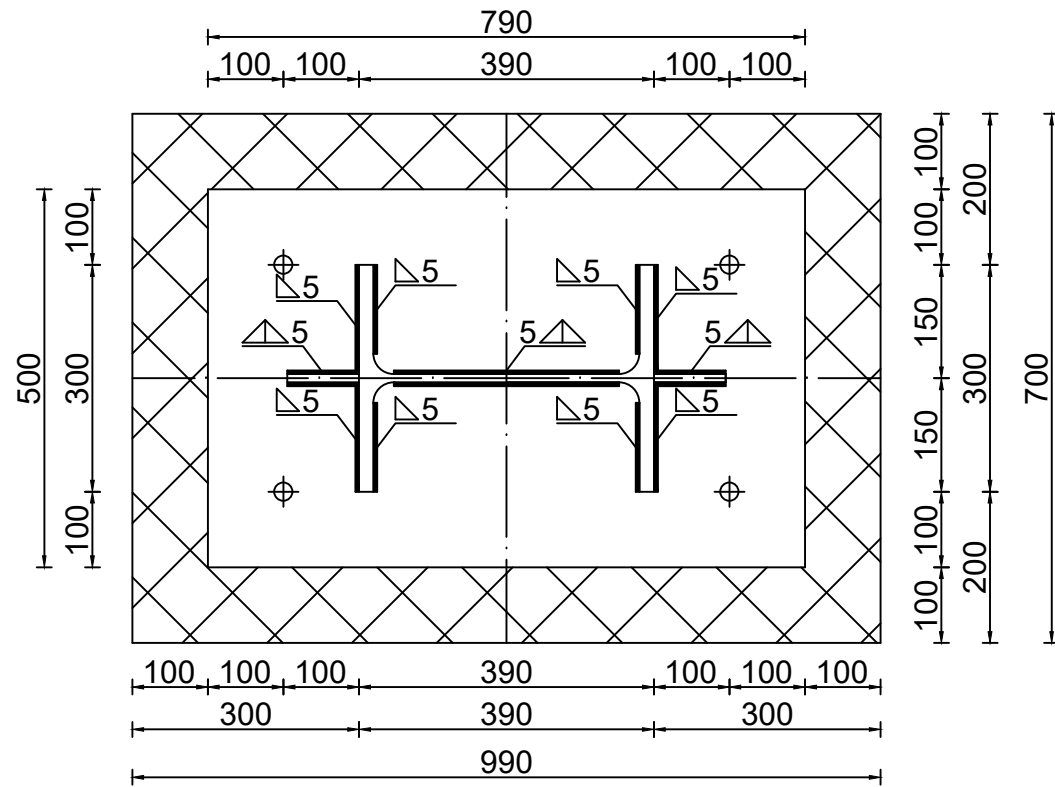


DIMENZIJE PLOČE

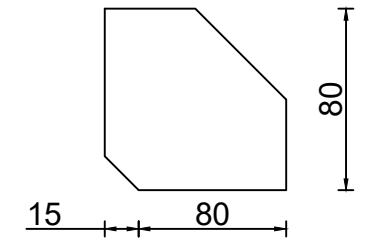


G	Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci		
F	Kolegij	Osnove čeličnih konstrukcija	Ak. god.
	Sadržaj nacrt	Detalj spoja stupa s temeljom	2023/2024
	Izradio	Mateo Osojnak	Mjerilo: 1:10
	Mentorica	doc.dr.sc. Paulina Kroló, dipl.ing.građ.	List: 2

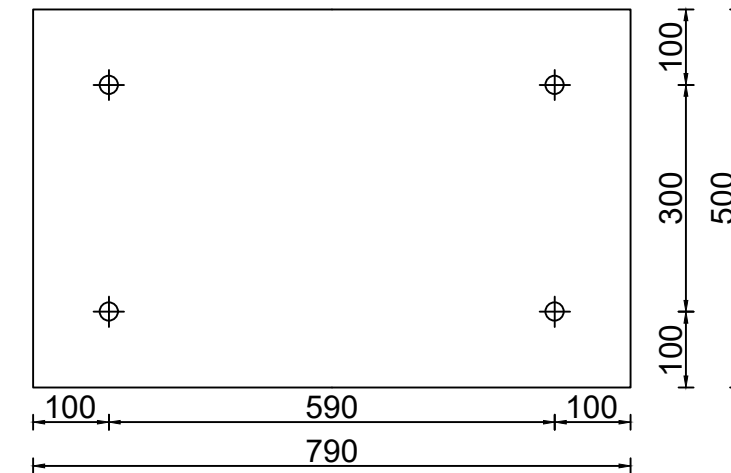
DETALJ SPOJA STUPA HEA 400 NA TEMELJ M 1:10



DIMENZIJE UKRUTE

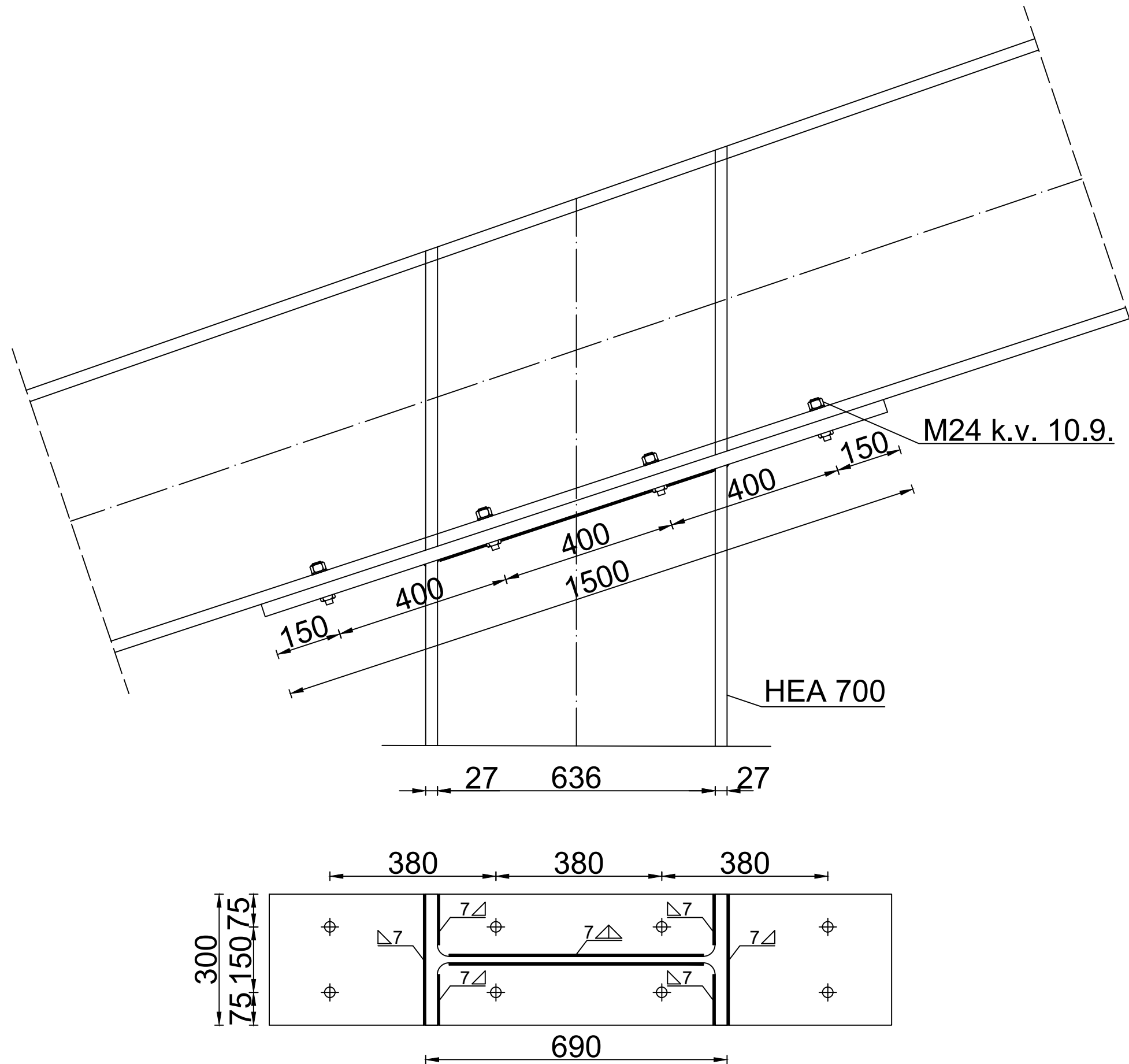


DIMENZIJE PLOČE

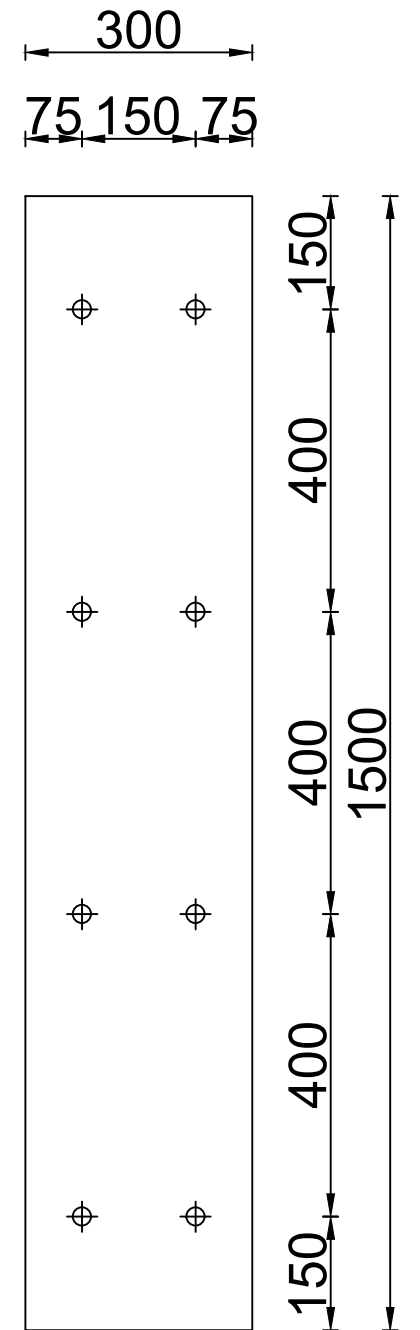


G F	Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci		
	Kolegij	Osnove čeličnih konstrukcija	Ak. god.
Sadržaj nacrt	Detalj spoja stupa s temeljom		2023/2024
Izradio	Mateo Osojnak	Mjerilo:	1:10
Mentorica	doc.dr.sc. Paulina Krolo, dipl.ing.građ.	List:	3

DETALJ SPOJA STUPA HEA 700 S GREDOM

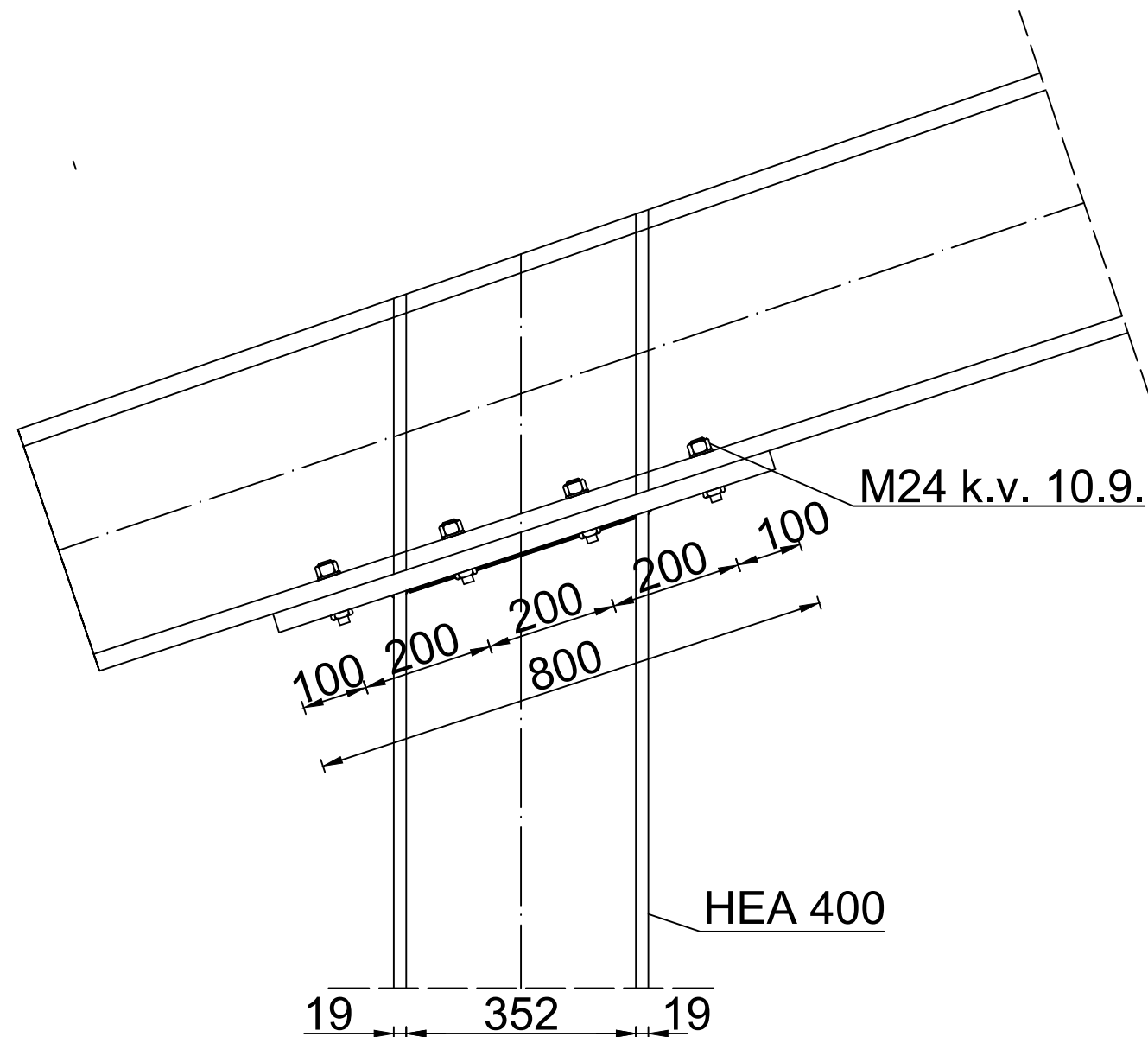


DIMENZIJE PLOČE

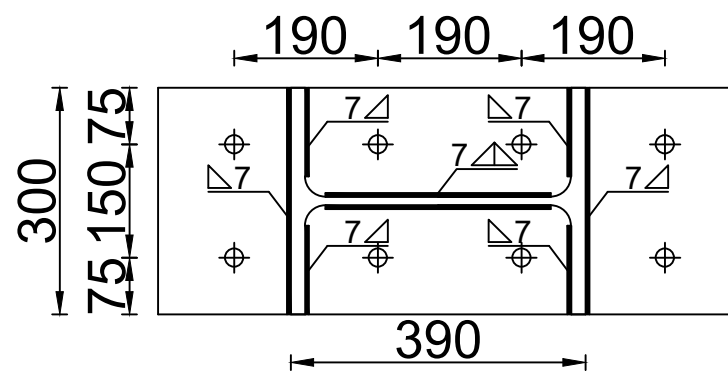
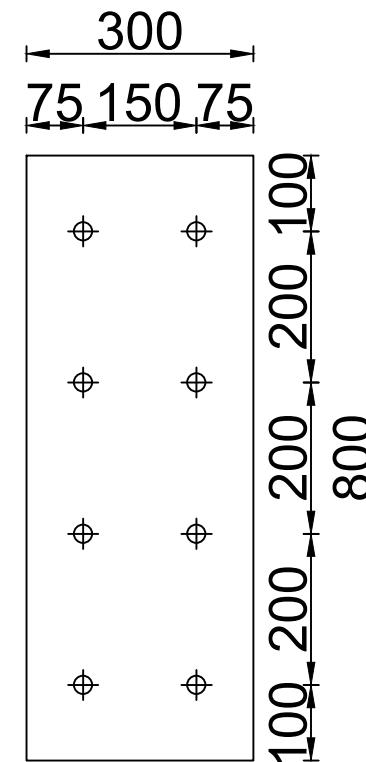


G	Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci		
F	Kolegij	Osnove čeličnih konstrukcija	Ak. god.
	Sadržaj nacrt	Detalj spoja stupa s gredom	2023/2024
	Izradio	Mateo Osojnak	Mjerilo: 1:10
	Mentorica	doc.dr.sc. Paulina Krolo, dipl.ing.građ.	List: 4

DETALJ SPOJA STUPA HEA 400 S GREDOM



DIMENZIJE PLOČE



G	Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci		
F	Kolegij	Osnove čeličnih konstrukcija	Ak. god.
	Sadržaj nacrt	Detalj spoja stupa s gredom	2023/2024
	Izradio	Mateo Osojnak	Mjerilo: 1:10
	Mentorica	doc.dr.sc. Paulina Krolo, dipl.ing.grad.	List: 5