

Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s punostjenim nosačima

Perko, Anja

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:157:087503>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Anja Perko

**Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s punostjenim
nosačima**

Završni rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Preddiplomski sveučilišni studij

Osnove čeličnih konstrukcija

Anja Perko

JMBAG: 0114033936

**Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s punostjenim
nosačima**

Završni rad

Rijeka, rujan 2022.

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.

Anja Perko

U Rijeci, 14. rujna 2022.

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Paulini Krolo na mentorstvu i ukazanoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

SADRŽAJ

1. NADSTREŠNICE I NJIHOVA PODJELA.....	1
1.1. Općenito.....	1
1.2. Konstrukcija nadstrešnice	1
1.3. Pokrov.....	3
2. TEHNIČKI OPIS	6
3. ANALIZA DJELOVANJA.....	7
3.1. Stalno djelovanje.....	7
3.2. Djelovanje snijegom	8
3.3. Djelovanje vjetrom.....	9
4. KOMBINACIJE DJELOVANJA ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI I GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI.....	18
4.1. Granično stanje nosivosti (GSN).....	18
4.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU).....	19
5. STATIČKI PRORAČUN	20
5.1. Izgled konstrukcije.....	20
5.3. Dijagrami unutarnjih sila i momenata savijanja	24
6. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE ZA GSN.....	26
6.1. Dimenzioniranje stupa.....	26
6.2. Dimenzioniranje kose prečke	41
6.3. Dimenzioniranje sekundarnog nosača	49
7. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE ZA GSU.....	55
7.1. Provjera pomaka stupa	55
7.2. Provjera progiba kose prečke.....	56
7.3. Provjera progiba sekundarnog nosača.....	57
8. PRORAČUN SPOJEVA KONSTRUKCIJE	58
8.1. Spoj stupa i kose prečke	58
8.2. Spoj stupa na AB temelj.....	63
9. ZAKLJUČAK.....	69
10. LITERATURA	70
11. NACRTI.....	72

POPIS SILKA

Slika 1 - Primjer metalne nadstrešnice [1]	1
Slika 2 - Primjer drvene nadstrešnice [2].....	2
Slika 3 - Primjer nadstrešnice oslonjene na stupove [3]	2
Slika 4 - Primjer konzolne nadstrešnice [3]	2
Slika 5 - Primjer V - oblika pokrova [3]	3
Slika 6 - Primjer ravnog jednostrešnog oblika pokrova [3].....	3
Slika 7 - Primjer lučnog pokrova [4].....	3
Slika 8 - Primjer pokrova složenog oblika [5].....	4
Slika 9 - Pokrov od solarnih panela [6]	4
Slika 10 - Limeni pokrov [7]	4
Slika 11 - Pokrov od kaljenog stakla [8].....	5
Slika 12 - Pokrov od polikarbonatnih ploča [9]	5
Slika 13 - Tlocrtna dispozicija konstrukcije	6
Slika 14 - Solarni panel marke Jolywood [9].....	7
Slika 15 - Karta snježnih područja Republike Hrvatske [3]	8
Slika 16 - Faktor oblika za dvostrešni krov [1]	9
Slika 17 - Karta osnovne brzine vjetra Republike Hrvatske [4].....	10
Slika 18 - Faktor izloženosti prikazan kao funkcija visine iznad terena i funkcija kategorije terena [2].....	12
Slika 19 - Zone opterećenja vjetrom - smjer x	14
Slika 20 - Zone opterećenja vjetrom - smjer y	15
Slika 21 - Zone horizontalnog opterećenja vjetrom	16
Slika 23 - Konzolna nadstrešnica - tlocrt	20
Slika 22 - Konzolna nadstrešnica - nacrt.....	20
Slika 24 - Konzolna nadstrešnica - bokocrt	20
Slika 26 - Opterećenje snijega na konstrukciju.....	21
Slika 25 - Opterećenje na konstrukciju od težine pokrova.....	21
Slika 27 - Opterećenje vjetra na konstrukciju $\varphi = 0$, smjer x.....	21
Slika 29 - Opterećenje vjetra na konstrukciju $\varphi = 0$, smjer y	22
Slika 30 - Opterećenje vjetra na konstrukciju $\varphi = 1$, smjer y	22
Slika 28 - Opterećenje vjetra na konstrukciju $\varphi = 1$, smjer x	22
Slika 31 - Definirane kombinacije djelovanja u programu Robot Structural Analysis.....	23
Slika 33 - Dijagrami poprečnih sila (F_z).....	24
Slika 32 - Dijagrami momenata savijanja (M_y)	24
Slika 34 - Dijagrami uzdužnih sila (F_x)	24
Slika 35 - Vrijednosti pomaka od vlastite težine konstrukcije	25
Slika 36 - Vrijednosti pomaka za mjerodavnu kombinaciju GSU	25
Slika 38 - Sile i momenti koji djeluju na stup (COMB5)	26
Slika 37 - Položaj najopterećenijeg stupa.....	26
Slika 39 - Sile i momenti koji djeluju na poprečni presjek stupa	27

Slika 40 - Duljine izvijanja stupova za različite slučajeve [5]	33
Slika 41 – Položaj najopterećenije kose prečke	41
Slika 42 - Sile i momenti koji djeluju na kosu prečku (COMB5).....	41
Slika 43 - Sile i momenti koji djeluju na poprečni presjek kose prečke	41
Slika 46 - Sile i momenti koji djeluju na poprečni presjek sekundarnog nosača	49
Slika 45 - Sile i momenti koji djeluju na sekundarni nosač (COMB5)	49
Slika 44 – Položaj najopterećenijeg sekundarnog nosača	49
Slika 47 - Pomak stupa – mjerodavna kombinacija	55
Slika 48 - Pomak stupa - vlastita težina.....	55
Slika 49 - Progib kose preče - mjerodavna kombinacija.....	56
Slika 50 - Progib kose prečke - vlastita težina.....	56
Slika 51 - Progib sekundarnog nosača - mjerodavna kombinacija	57
Slika 52 - Progib sekundarnog nosača - vlastita težina	57
Slika 53 – Detalj obostrano simetričnog spoja kose prečke na stup - sile i momenti koji djeluju na spoj	58
Slika 54 - Sile koje djeluju na vijke	58
Slika 55 - Spoj kose prečke na stup - sile koje djeluju na zavar	61
Slika 56 - Detalj spoja čeličnog stupa na AB temelj - sile i momenti koji djeluju na spoj.....	63
Slika 57 - Spoj stupa na AB temelj - vlačna sila od momenta koja djeluje na spoj	64
Slika 58 - Spoj stupa na AB temelj - sile koje djeluju na zavar	67

POPIS TABLICA

Tablica 1 - Kategorije terena i parametri terena [4]	11
Tablica 2 - Vrijednosti koeficijenata C_{pnet} i C_f za dvostrešne nadstrešnice [2]	13
Tablica 3 - Interpolacija vrijednosti c_r po zonama	14
Tablica 4 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\varphi = 0$, smjer x	14
Tablica 5 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\varphi = 1$, smjer x	15
Tablica 6 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\varphi = 0$, smjer y	15
Tablica 7 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\varphi = 0,1$ smjer y	16
Tablica 8 – Vrijednosti faktora $c_{pe,10}$ i $c_{pe,10}$ po zonama [2]	16
Tablica 9 - Vrijednosti parcijalnih faktora djelovanja.....	18
Tablica 10 - Vrijednosti faktora kombinacije	18
Tablica 11 – Karakteristike poprečnog presjeka stupa	27
Tablica 12 - Klasifikacija unutarnjih tlačnih elemenata [5]	28
Tablica 13 - Klasifikacija vanjskih tlačnih elemenata [5]	29
Tablica 14 - Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeke [5]	34
Tablica 15 - Faktori imperfekcije α_{LT} zavisi od krivulje izvijanja [5]	34
Tablica 16 - Faktori C_i za izračun kritičnog momenta bočno-torzijskog izvijanja [5]	36
Tablica 17 – Faktori međudjelovanja kij za elemente neosjetljive na torzijsko deformiranje [5]	39
Tablica 18 – Faktori ekvivalentnog jednolikog momenta [5]	39
Tablica 19 - Karakteristike poprečnog presjeka kose prečke	42
Tablica 20 - Karakteristike poprečnog presjeka sekundarnog nosača	50
Tablica 21 - Karakteristike vijaka korištenim u spoju kosa prečka - stup.....	58
Tablica 22 - Karakteristike vijaka korištenih u spoju stup – AB temelj.....	63

SAŽETAK

Ovaj završni rad obuhvaća proračun i dimenzioniranje konzolne čelične nadstrešnice s pokrovom od solarnih panela. U prvom dijelu rada dan je opis nadstrešnica i njihova podjela prema tipu konstrukcije i vrsti pokrova. Nakon toga, služeći se odgovarajućim normama i nacionalnim dodacima, provedena je analiza djelovanja za slučaj stalnog opterećenja od vlastite težine i težine solarnih panela te promjenjivog opterećenja od vjetra i snijega. S dobivenim vrijednostima opterećenja izračunate su mjerodavne kombinacije za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Provedeno je dimenzioniranje glavnih dijelova konstrukcije: stupa, kose prečke, sekundarnog nosača. Za statičke proračune korišten je program Robot Structural Analysis, a za izradu nacrtu, program AutoCad. Konstrukcija zadovoljava granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Također su proračunati vijčani spojevi stupa na betonski temelj i kose prečke na stup.

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

ABSTRACT:

This Bachelor thesis analyses and designs a steel cantilever canopy with solar panel roofing. The first section of the thesis describes canopies and classifies them based on their construction and roofing. The action was then analysed using the appropriate norms and national annex for the case of dead load from dead weight and solar panel weight, as well as the case of variable load from wind and snow. Appropriate combinations for the ultimate limit state and serviceability limit state have been calculated using the obtained load values. The main components of the structure, such as the column, beam, and secondary elements, have also been designed. The Robot Structural Analysis programme was used for statics calculations, and the AutoCad programme was used for draft creation. Construction is satisfying the ultimate limit state and ultimate limit serviceability. Bolted connections of the column to the concrete foundation and beam to the column have also been calculated.

Keywords: steel structure, cantilever canopy, solar panels, static calculation, ultimate limit state, serviceability limit state

1. NADSTREŠNICE I NJIHOVA PODJELA

1.1. Općenito

Nadstrešnica je konstrukcija otvorenog tipa koja prvenstveno služi za zaštitu ljudi, vozila, strojeva i materijala od utjecaja sunca i padalina. Osim toga, važnu ulogu ima njezin izgled jer se danas teži k tomu da se modernim dizajnom konstrukcija nastoji uklopiti u okolinu i vizualno dopuniti objekt uz koji se nalazi (hotel, kuća, kolodvor, i dr). Prema tome postoji više vrsta materijala koji se mogu upotrijebiti prilikom izrade nadstrešnice, a koji zadovoljavaju spomenute kriterije.

1.2. Konstrukcija nadstrešnice

a) Materijal konstrukcije

Konstrukcija nadstrešnica najčešće se izvode od metala (nehrđajući čelik, aluminij) ili od drveta. Metalne nadstrešnice, za razliku od drvenih, su jeftinije i otpornije na atmosferske utjecaje te imaju malu potrebu za održavanjem. Međutim, drvo kao materijal pruža bolji estetski izgled od metala.



Slika 1 - Primjer metalne nadstrešnice [1]



Slika 2 - Primjer drvene nadstrešnice [2]

b) Vrsta konstrukcije

Prema vrsti konstrukcije imamo nadstrešnice na stupovima i konzolne nadstrešnice.



Slika 3 - Primjer nadstrešnice oslonjene na stupove [3]

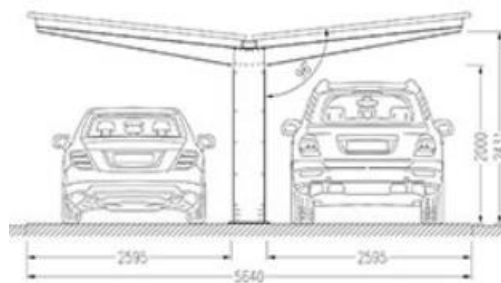


Slika 4 - Primjer konzolne nadstrešnice [3]

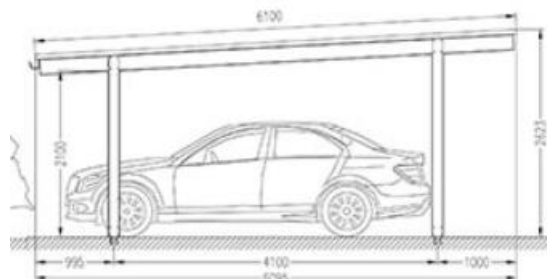
1.3. Pokrov

a) Oblik

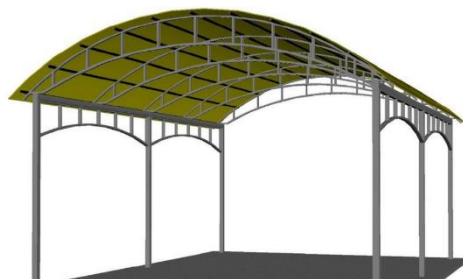
Mogućnosti oblikovanja pokrova nadstrešnice su razne, ovisno o zahtjevu projekta i materijala koji se koristi. Najjednostavniji oblici su ravni jednostrešni i dvostrešni i v- oblik, zatim mogu biti lučni te složenije dekorativne strukture.



Slika 5 - Primjer V - oblika pokrova [3]



Slika 6 - Primjer ravnog jednostrešnog oblika pokrova [3]



Slika 7 - Primjer lučnog pokrova [4]



Slika 8 - Primjer pokrova složenog oblika [5]

b) Vrsta materijala pokrova



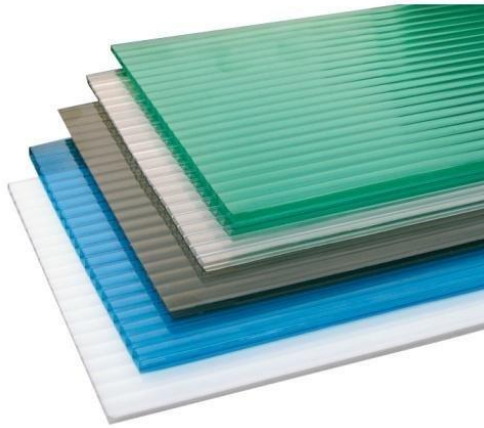
Slika 9 - Pokrov od solarnih panela [6]



Slika 10 - Limeni pokrov [7]



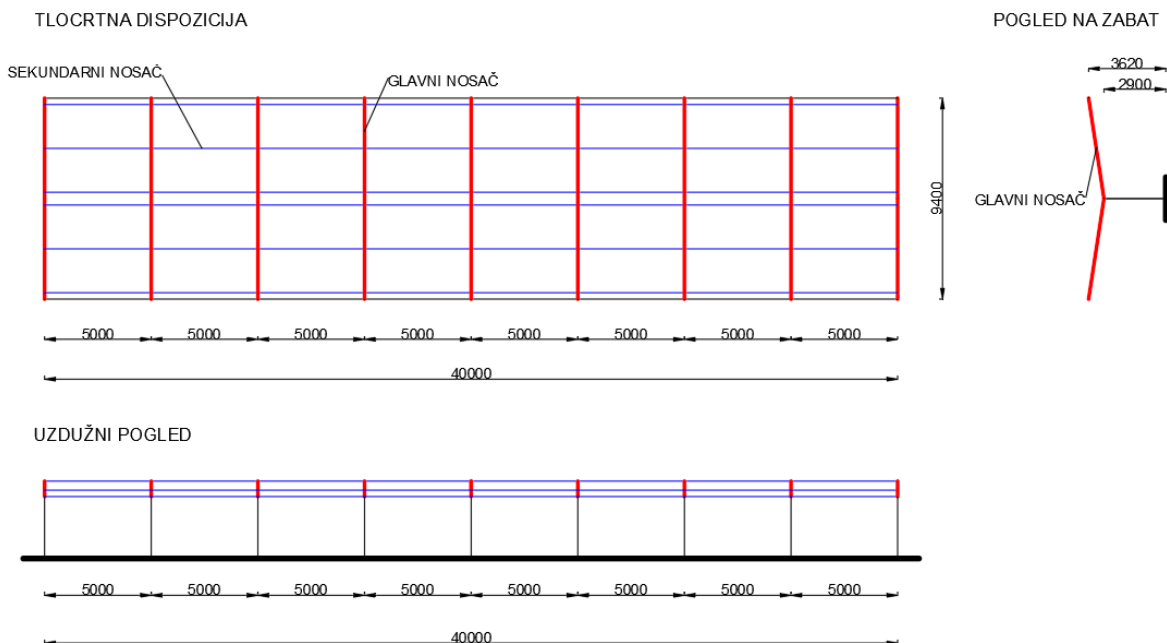
Slika 11 - Pokrov od kaljenog stakla [8]



Slika 12 - Pokrov od polikarbonatnih ploča [9]

2. TEHNIČKI OPIS

Konstrukcija je čelična konzolna nadstrešnica s pokrovom od solarnih panela. Smještena je u Rijeci tlocrtnih dimenzija 40 x 9,4 m i visine 3,62 m. Konstrukcija se nalazi na području grada Rijeke, na nadmorskoj visini od 130 m n.m. Glavnu konstrukciju čini stup, poprečnog profila HE-B 180 i dvije kose prečke, poprečnog profila IPE 300, postavljene na suprotne strane stupa. Osnj razmak stupova iznosi 5 m tako da se između glavnih konstrukcija nalaze po dva parkirna mjesta. Izvedeno je ukupno osam takvih konstrukcija. Sekundarni nosači, izvedeni od profila IPE 120, položeni su na kose prečke na razmaku propisanom u katalogu solarnih panela. Spojevi konstrukcije su izvedeni vijcima, sastoje se od 6 vijaka M16 k.v. 8.8. u spoju kose prečke na stup i 4 vijka M16 k.v. 4.6. u spoju stupa na temelj. Kvaliteta čelika za izradu svih komponenata nadstrešnice je S275. Na konstrukciju djeluje stalno opterećenje, opterećenje snijegom i opterećenje vjetrom. U statičkom proračunu za stalo opterećenje uzeto je djelovanje vlastite težine konstrukcije zajedno s djelovanjem težine solarnih panela. Djelovanje snijega proračunato je u skladu s europskom normom HRN EN 1991-1-3 te nacionalnim dodatkom HRN EN 1991-1-3/NA, a djelovanje vjetra u skladu s europskom normom HRN EN 1991-1-4 i nacionalnim dodatkom HRN EN 1991-1-4.



Slika 13 - Tlocrtna dispozicija konstrukcije

3. ANALIZA DJELOVANJA

3.1. Stalno djelovanje

Stalna djelovanja koja imaju utjecaj na konstrukciju jesu njezina vlastita težina i težina pokrova.

Vlastita težina nadstrešnice je u proračun uključena u programu Robot Structural Analysis putem opcije „selfweight“.

U ovom radu uzeti su solarni paneli proizvođača Jolywood (Taizhou) Solar Technology Co. [9]. Dimenzije panela su 1666x1002x35 mm, a njegova težina iznosi $g_k 0,18 \text{ kN/m}^2$.



Slika 14 - Solarni panel marke Jolywood [9]

3.2. Djelovanje snijegom

Proračun jer proveden u skladu s europskom normom HRN EN 1991-1-3 te nacionalnim dodatkom HRN EN 1991-1-3/NA.

Prilikom izračuna opterećenja snijega na krov koristimo slijedeći izraz:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

gdje je:

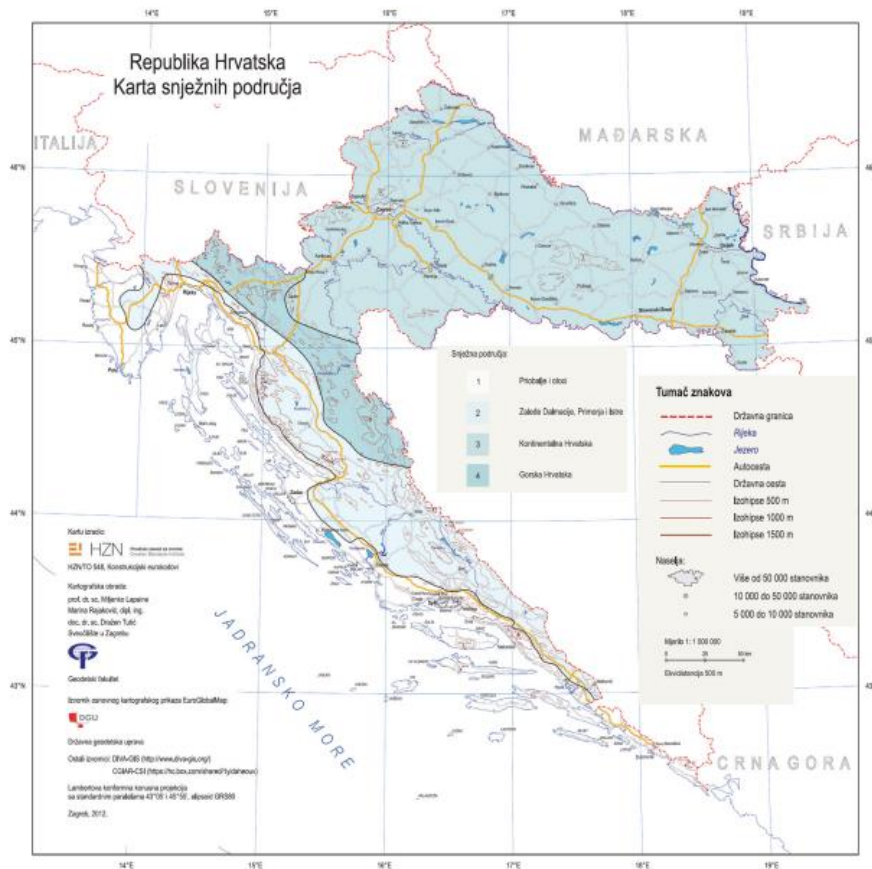
μ_i – koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu

C_e – koeficijent izloženosti

C_t – toplinski koeficijent

s_k – karakteristična vrijednost snijega na tlu, ovisi o lokaciji objekta njegovoj nadmorskoj visini

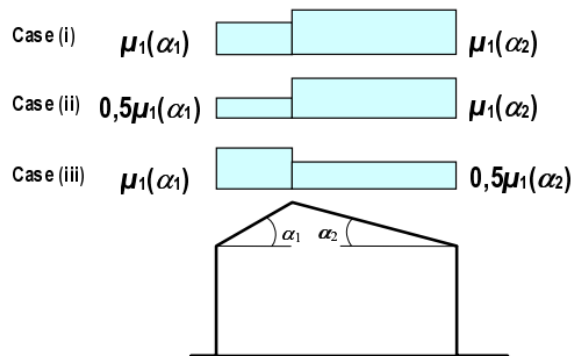
Nadstrešnica je smještena u gradu Rijeci do 130 m n.m. visine te prema karti snježnih područja za Republiku Hrvatsku (Slika 15) pripada zoni priobalja i otoka odnosno prvom snježnom području. U skladu s tim vrijednost s_k iznosi 0,5 kN/m²



Slika 15 - Karta snježnih područja Republike Hrvatske [3]

Za navedenu lokaciju preporučena vrijednost za faktore C_e i C_t je 1.

Kako nadstrešnica ima dvostrešni krov primjenjuje se raspodjela snijega kao na Slici 16.



Slika 16 - Faktor oblika za dvostrešni krov [1]

Koeficijent oblika određuje se na osnovnu nagiba krovne plohe $\alpha = 8,5^\circ$ te uvjeta $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ zadanog u normi EN 1991-1-3 te iznosi $\mu_1 = 0,8$. Budući da krovne plohe imaju simetričan nagib vrijedi $\mu_1 = \mu_2$.

Djelovanje snijega na krov iznosi $s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$.

3.3. Djelovanje vjetrom

Izračun djelovanja vjetra na konstrukciju je proveden u skladu s europskom normom HRN EN 1991-1-4 i nacionalnim dodatkom HRN EN 1991-1-4.

Za proračun opterećenja vjetra treba uzeti u obzir njegovo djelovanje na vanjske i unutarnje površine konstrukcije. Tlak vjetra na površinu objekta se računa prema formuli

$w_k = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$, gdje je

$q_p(z_e)$ – pritisak uslijed brzine vjetra

c_{pe} – koeficijent tlaka

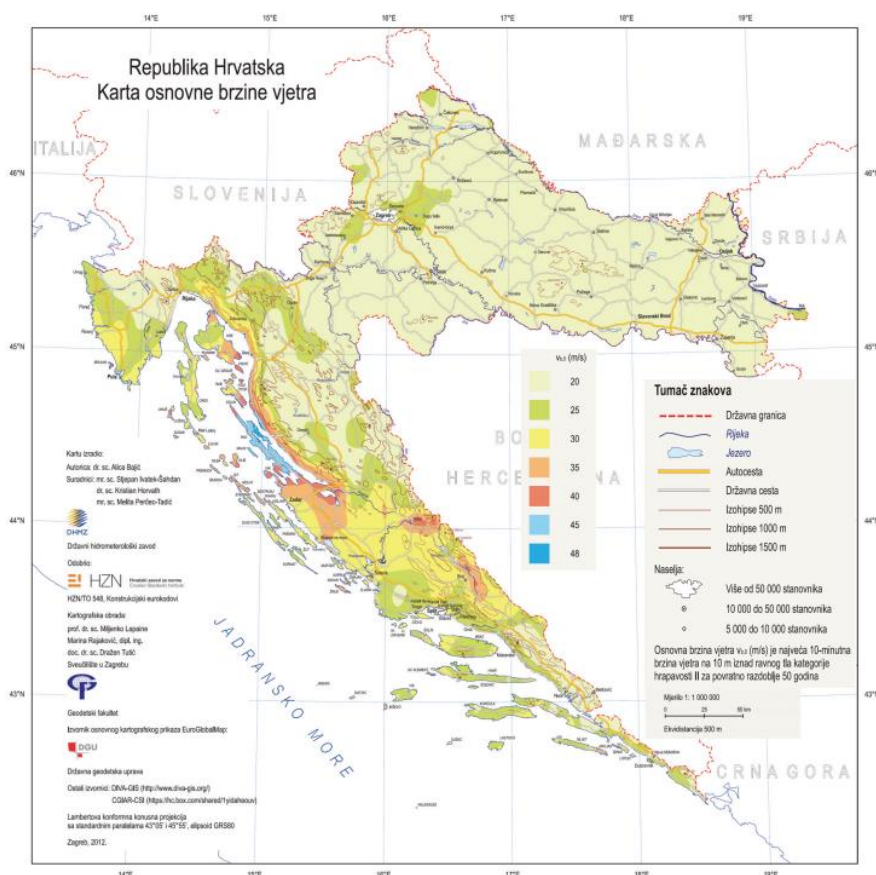
Pritisak uslijed brzine vjetra se može izračunati na dva načina. U ovom radu provode se oba.

I. NAČIN

Vrijednost osnovne brzine vjetra v_b ovisi o temeljnoj vrijednosti osnovne brzine vjetra $v_{b,o}$, faktoru smjera c_{dir} (preporučena vrijednost je 1) i faktoru godišnjeg doba c_{seson} (preporučena vrijednost je 1) te se određuje pomoću izraza: $v_b = c_{dir} \cdot c_{seson} \cdot v_{b,o}$

Iz karte osnovne brzine vjetra (Slika 17) očitavamo njezinu vrijednost. Budući da je nadstrešnica smještena na području Rijeke, temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra iznosi 25 m/s. Prema tome osnovna brzine vjetra v_b iznosi:

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 \frac{m}{s} = 25 \text{ m/s.}$$



Slika 17 - Karta osnovne brzine vjetra Republike Hrvatske [4]

Srednja brzina vjetra $v_m(z)$ dobiva se korištenjem sljedeće formule:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

$c_0(z)$ – faktor vertikalne razvedenosti (jednak 1)

$c_r(z)$ – faktor hrapavosti:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}, \quad k_r \text{ – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti}$$

z_0 se očitava iz tablice broj 1, ovisno o kategoriji i parametrima terena. Lokacijski, konstrukcija je pozicionirana u Rijeci koja se nalazi na području mora i priobalja što odgovara kategoriji 0 u Tablici 1. Prema tome z_0 iznosi 0,003 m

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

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

Visina građevine do vrha (z) je 3.62 m, z_{\min} prema Tablici 1 (za kategorije terena 0) iznosi 1 m.

$$z_{\max} = 200 \text{ m}$$

Budući da je $1 \leq 3,62 \leq 200$, faktor hrapavosti iznosi:

$$c_r(z) = k_r \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 1,107$$

Tablica 1 - Kategorije terena i parametri terena [4]

Kategorija terena		z_0 [m]	z_{\min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera 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.

Intenzitet turbulencije $I_v(z)$ na visini z za $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln(z/z_0)} = 0,141$$

Gdje je k_1 faktor turbulencije i iznosi 1 (preporučena vrijednost).

Tlak pri vršnoj brzini vjetra:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = 95,2 \text{ N/m}^2$$

Za gustoću zraka ρ uzeta je preporučena vrijednost $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Tlak pri osnovnoj brzini:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 390,6 \text{ N/m}^2$$

Faktor izloženosti :

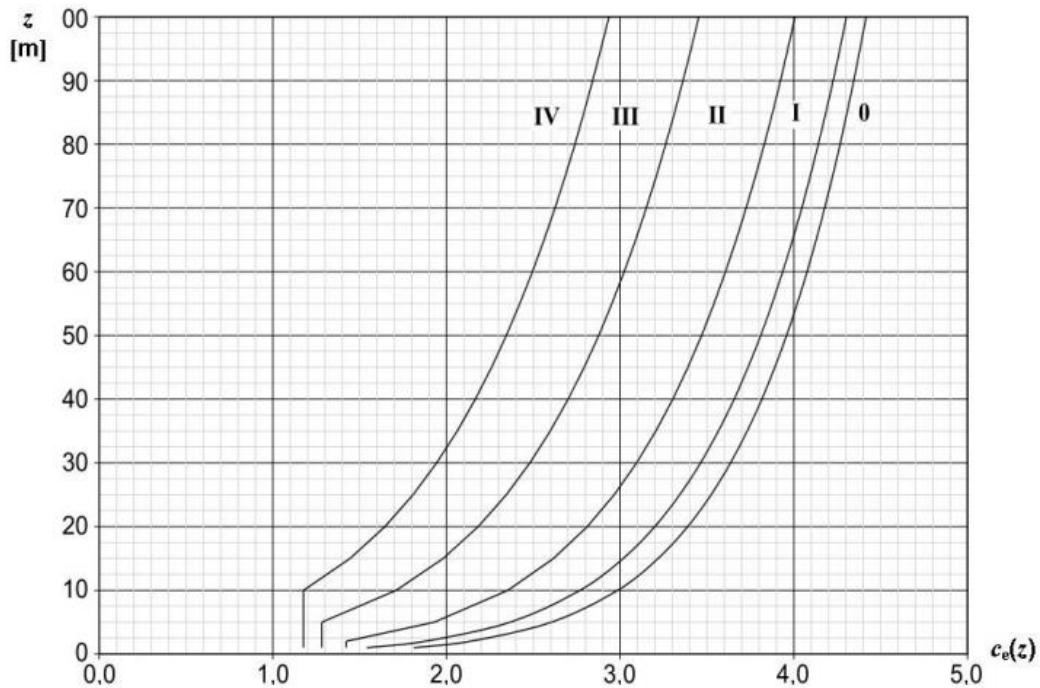
$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = 2,435$$

II. NAČIN

Tlak pri vršnoj brzini : $q_p(z) = c_e(z)q_b = 945,31 \text{ N/m}^2$, gdje je

- $c_e(z)$ faktor izloženosti za $z = 3.62 \text{ m}$ i kategoriju terena 0 jednak 2,42 (Slika 17).

- q_b tlak pri osnovnoj brzini iznosi $q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 390,6 \text{ N/m}^2$



Slika 18 - Faktor izloženosti prikazan kao funkcija visine iznad terena i funkcija kategorije terena [2]

Način izračuna broj 2 je služio kao provjera rezultata dobivenog provedbom prvog načina izračuna.

$$q_p(I \text{ NAČIN}) \approx q_p(II \text{ NAČIN})$$

$$951,2 \text{ N/m}^2 \approx 945,3 \text{ N/m}^2$$

Djelovanje vjetra na krov nadstrešnice:

Tlak vjetra na krov nadstrešnice određujemo na osnovu izraza $w_f = q_{p(z)} c_{p,net}$, gdje se vrijednosti koeficijenata $c_{p,net}$ određuje pomoću Tablice 2.

Tablica 2 - Vrijednosti koeficijenata $c_{p,net}$ i C_f za dvostrešne nadstrešnice [2]

Nagib krova α	Zapriječenost φ	Koeficijenti sveukupne sile c_f	Koeficijenti neto tlaka $c_{p,net}$ tlocrt			
			Područje A	Područje B	Područje C	Područje D
- 20°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20°	Najveća vrijednost, svi φ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1

Za kut nagiba krova $-8,5^\circ$ vrijednosti $C_{p,net}$ dobivamo interpolacijom vrijednosti između kutova -10° i -5° .

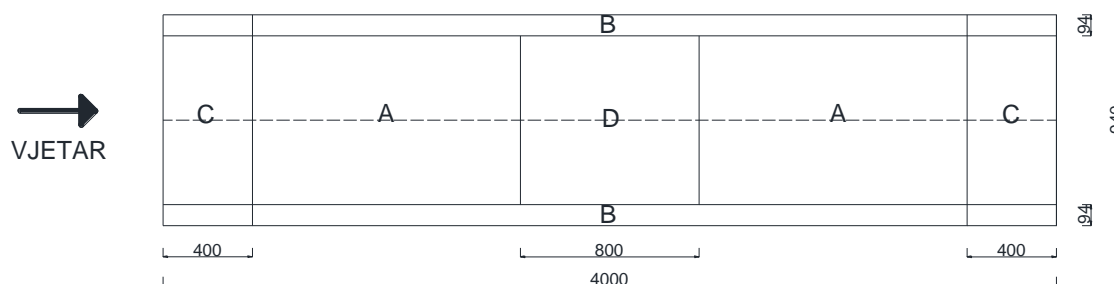
Tablica 3 - Interpolacija vrijednosti c_r po zonama

		c_r	A	B	C	D
-10	$\varphi = 0$	-0.6	-0.8	-1.3	-1.5	-0.6
	$\varphi = 1$	-1.4	-1.6	-2.7	-2.6	-0.6
-5	$\varphi = 0$	-0.5	-0.7	-1.3	-1.6	-0.6
	$\varphi = 1$	-1.3	-1.5	-2.4	-2.4	-0.6
-8.5	$\varphi = 0$	-0.57	-0.77	-1.3	-1.53	-0.6
	$\varphi = 1$	-1.37	-1.57	-2.61	-2.54	-0.6

Opterećenja po zonama:

$\varphi = 0$ – prazan parking

$\varphi = 1$ – pun parking



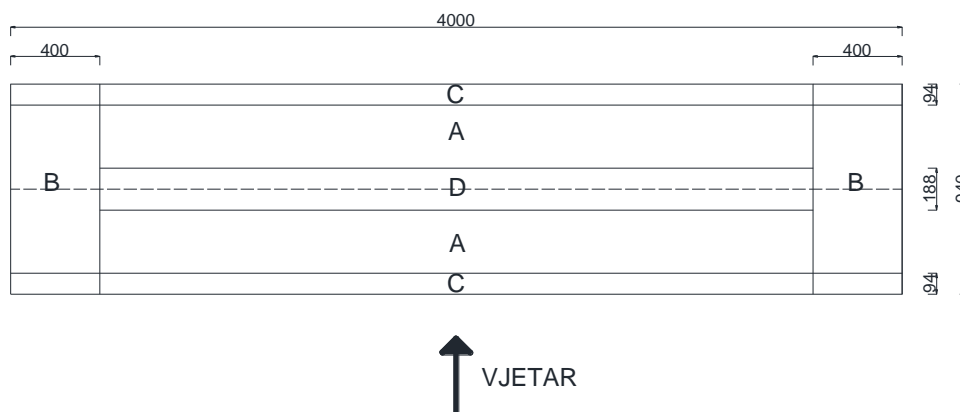
Slika 19 - Zone opterećenja vjetrom - smjer x

Tablica 4 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\varphi = 0$, smjer x

ZONA	POVRŠINA	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{p,net}$	w_e [kN/m ²]
A	90.24	0.94	-0.77	-0.72
B	37.6	0.94	-1.3	-1.22
C	37.6	0.94	-1.53	-1.44
D	60.16	0.94	-0.6	-0.56

Tablica 5 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\phi = 1$, smjer x

ZONA	POVRŠINA	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{p,net}$	w_e [kN/m ²]
A	90.24	0.94	-1.57	-1.48
B	37.6	0.94	-2.61	-2.45
C	37.6	0.94	-2.54	-2.39
D	60.16	0.94	-0.6	-0.56



Slika 20 - Zone opterećenja vjetrom - smjer y

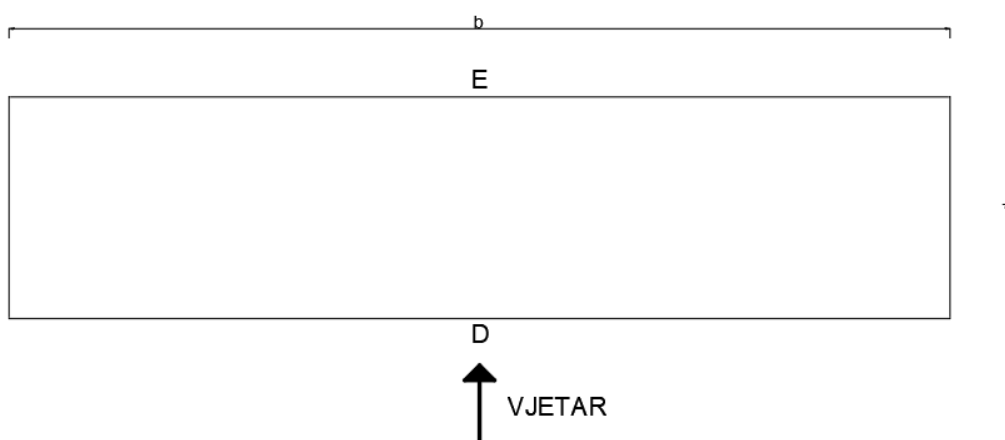
Tablica 6 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\phi = 0$, smjer y

ZONA	POVRŠINA	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{p,net}$	w_e [kN/m ²]
A	90.24	0.94	-0.77	-0.72
B	37.6	0.94	-1.3	-1.22
C	37.6	0.94	-1.53	-1.44
D	60.16	0.94	-0.6	-0.56

Tablica 7 - Vrijednosti pritiska vjetra po zonama opterećenja - $\varphi = 0,1$ smjer y

ZONA	POVRŠINA	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{p,net}$	w_e [kN/m ²]
A	90.24	0.94	-1.57	-1.48
B	37.6	0.94	-2.61	-2.45
C	37.6	0.94	-2.54	-2.39
D	60.16	0.94	-0.6	-0.56

Djelovanje vjetra na stup:



Slika 21 – Zone horizontalnog opterećenja vjetrom

Površina zone D na koju djeluje vjetar iznosi: $P_D = b \cdot h = 40 \cdot 2,9 = 116 \text{ m}^2$, gdje je h visina stupa. Budući da je $P_D > 10 \text{ m}^2$, iz Tablice 8 iščitavamo vrijednost $c_{pe,10}$ za zonu D. Kako je omjer $h/b = 0,31$, interpolacijom između vrijednost dobivamo konačni $c_{pe,10}$ koji iznosi 0,71.

Tablica 8 – Vrijednosti faktora $c_{pe,10}$ i $c_{pe,1}$ po zonama [2]

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

Pritisak vjetra na zonu D iznosi: $w_D = q_{p(z)} \cdot c_{pe,10} = 0,94 \cdot 0,71 = 0,67 \text{ kN/m}^2$

Horizontalno djelovanje na stup konstrukcije računa se prema izrazu:

$$w_{stup} = b \cdot w_D = 5 \cdot 0,67 = 3,35 \text{ kN/m}^2$$

4. KOMBINACIJE DJELOVANJA ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI I GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

Budući da su vrijednosti opterećenja karakteristične, koriste se parcijalni faktori prikazani u Tablici 9, a koji ovise od vrsti djelovanja (stalno, promjenjivo, povoljno, nepovoljno) i o graničnom stanju (GSN, GSU). Množenjem karakterističnih vrijednosti sa parcijalnim faktorima dobivaju se računске vrijednosti.

Tablica 9 - Vrijednosti parcijalnih faktora djelovanja

	Stalno djelovanje	Promjenjivo djelovanje	
GSN	1	0	POVOLJNO
	1.35	1.5	NEPOVOLJNO
GSU	1	0	POVOLJNO
	1	1	NEPOVOLJNO

U slučaju kada u kombinaciji postoje dva promjenjiva opterećenja (snijeg i vjetar), ono manje dominantno množimo sa faktorom kombinacije koji su prikazani u Tablici 10.

Tablica 10 - Vrijednosti faktora kombinacije

Proračunsko djelovanje	Faktor kombinacije ψ
snijeg	0,5
vjetar	0,6

4.1. Granično stanje nosivosti (GSN)

1. Težina pokrova + snijeg

$$q_d = 1,35g_k + 1,5s_k$$

2. Težina pokrova + vjetar

$$q_d = 1,35g_k + 1,5w_k$$

3. Težina pokrova + snijeg (dominantan) + vjetar

$$q_d = 1,35g_k + 1,5s_k + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k$$

4. Težina pokrova + vjetar (dominantan) + snijeg

$$q_d = 1,35g_k + 1,5w_k + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k$$

4.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU)

1. Težina pokrova + snijeg

$$q_d = 1,0g_k + 1,0s_k$$

2. Težina pokrova + vjetar

$$q_d = 1,0g_k + 1,0w_k$$

3. Težina pokrova + snijeg (dominantan) + vjetar

$$q_d = 1,0g_k + 1,0s_k + 1,0 \cdot 0,6 \cdot w_k$$

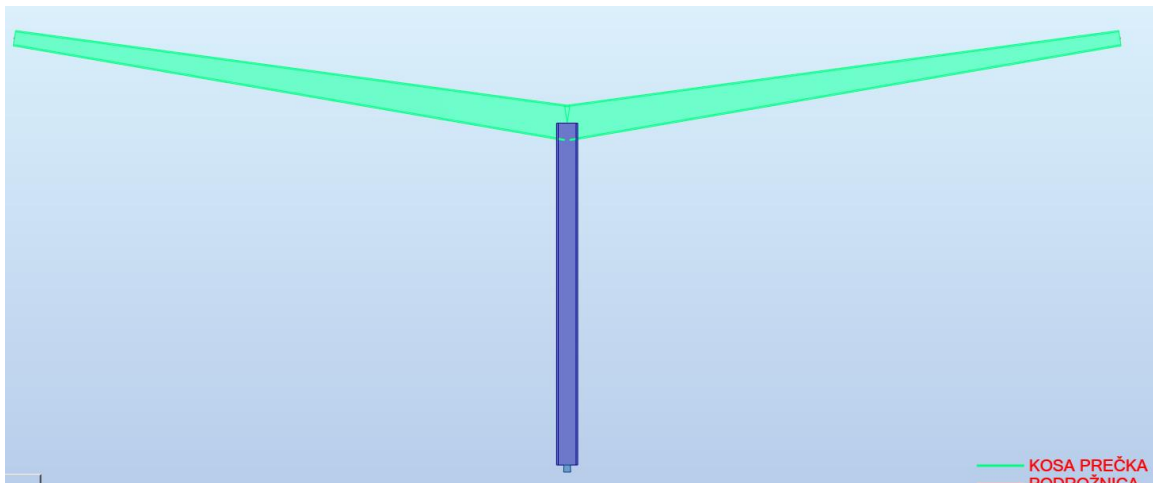
4. Težina pokrova + vjetar (dominantan) + snijeg

$$q_d = 1,0g_k + 1,0w_k + 1,0 \cdot 0,5 \cdot s_k$$

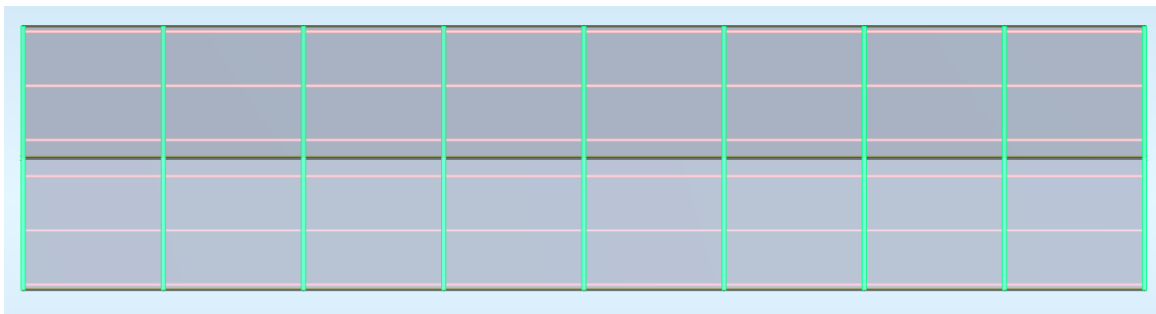
5. STATIČKI PRORAČUN

Statički proračun konstrukcije nadstrešnice proveden je u programu Robot Structural Anaysis.

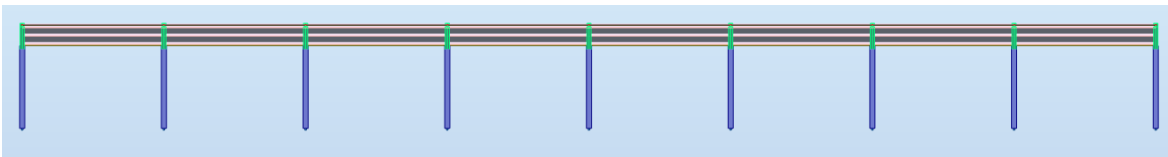
5.1. Izgled konstrukcije



Slika 23 - Konzolna nadstrešnica - nacrt



Slika 22 - Konzolna nadstrešnica - tlocrt



Slika 24 - Konzolna nadstrešnica - bokocrt

Na Slici 31 prikazane su kombinacije djelovanja za GSU I GSN koje su unesene u program Robot Structural Analysis, gdje su:

- 1 – Vlastita težina
- 2 – Opterećenje od pokrova
- 3 – Opterećenje od snijega
- 4 - Opterećenje od vjetra - $\varphi = 0$, smjer x
- 5 - Opterećenje od vjetra - $\varphi = 1$, smjer x
- 6 - Opterećenje od vjetra - $\varphi = 0$, smjer y
- 7 - Opterećenje od vjetra - $\varphi = 1$, smjer y

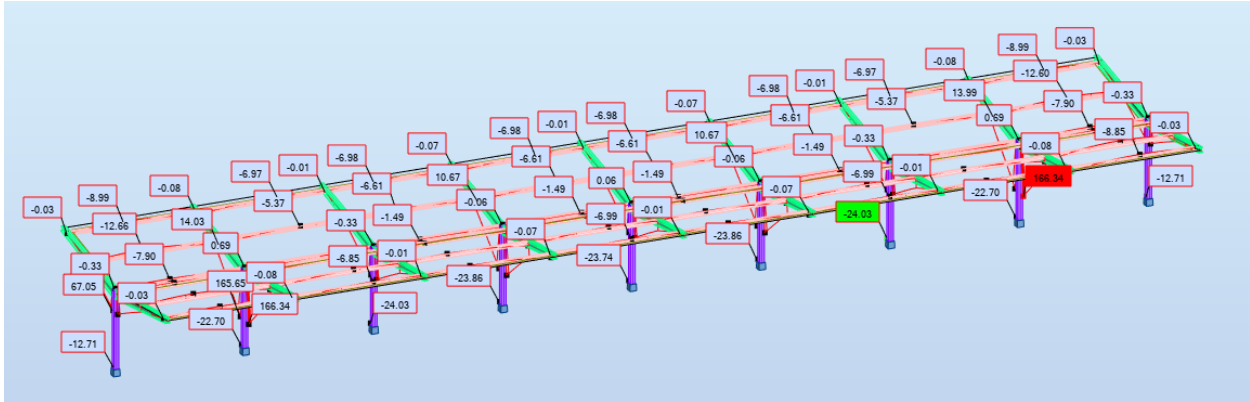
Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
8 (C)	COMB1	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*1.50
9 (C)	COMB2	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+4*1.50
10 (C)	COMB3	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+5*1.50
11 (C)	COMB4	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+6*1.50
12 (C)	COMB5	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+7*1.50
13 (C)	COMB6	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*1.50+4*0.90
14 (C)	COMB7	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*1.50+5*0.90
15 (C)	COMB8	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*1.50+6*0.90
16 (C)	COMB9	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*1.50+7*0.90
17 (C)	COMB10	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*0.75+4*1.50
18 (C)	COMB11	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*0.75+5*1.50
19 (C)	COMB12	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*0.75+6*1.50
20 (C)	COMB13	Linear Combinati	ULS	Structural	(1+2)*1.35+3*0.75+7*1.50
21 (C)	COMB14	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+3)*1.00
22 (C)	COMB15	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+4)*1.00
23 (C)	COMB16	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+5)*1.00
24 (C)	COMB17	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+6)*1.00
25 (C)	COMB18	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+7)*1.00
26 (C)	COMB19	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+3)*1.00+4*0.60
27 (C)	COMB20	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+3)*1.00+5*0.60
28 (C)	COMB21	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+3)*1.00+6*0.60
29 (C)	COMB22	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+3)*1.00+7*0.60
30 (C)	COMB23	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+4)*1.00+3*0.50
31 (C)	COMB24	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+5)*1.00+3*0.50
32 (C)	COMB25	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+6)*1.00+3*0.50
33 (C)	COMB26	Linear Combinati	SLS	Structural	(1+2+7)*1.00+3*0.50

Slika 31 - Definirane kombinacije djelovanja u programu Robot Structural Analysis

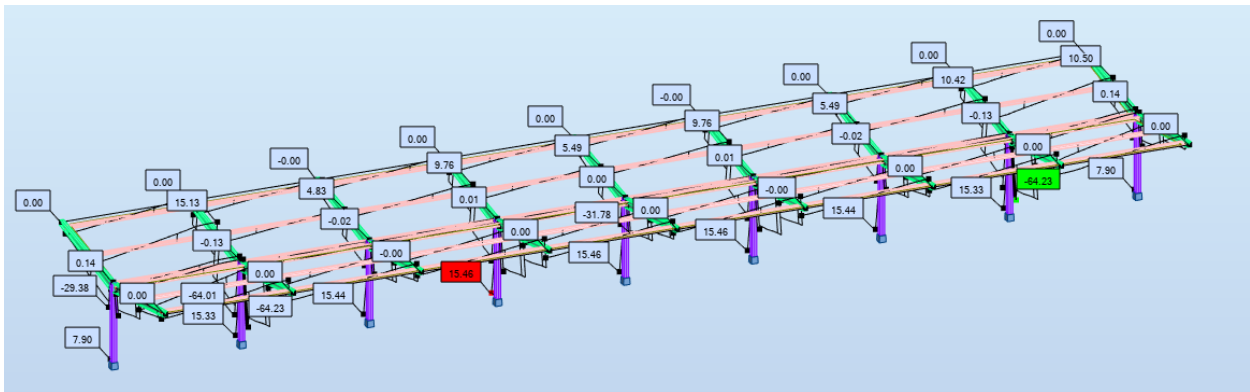
5.3. Dijagrami unutarnjih sila i momenata savijanja

Prikazani su dijagrami unutarnjih sila (F_x , F_z i momenata savijanja (M_y) za mjerodavnu kombinaciju graničnog stanja nosivosti – broj 2 (COMB5).

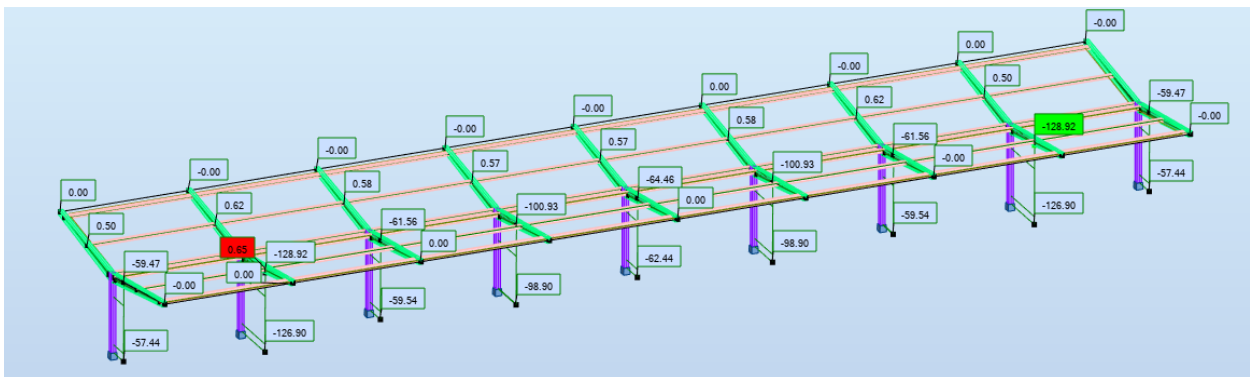
Dijagrami uzdužnih sila (F_x)



Slika 33 - Dijagrami momenata savijanja (M_y)

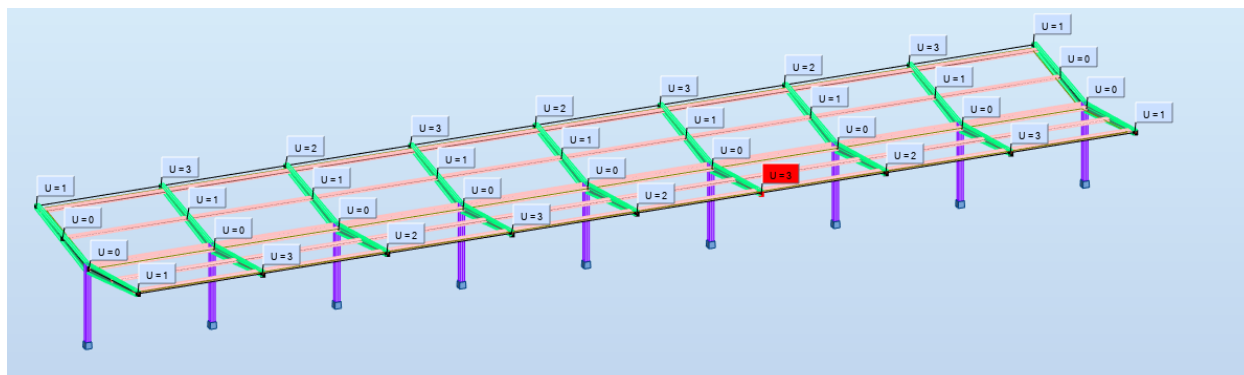


Slika 32 - Dijagrami poprečnih sila (F_z)

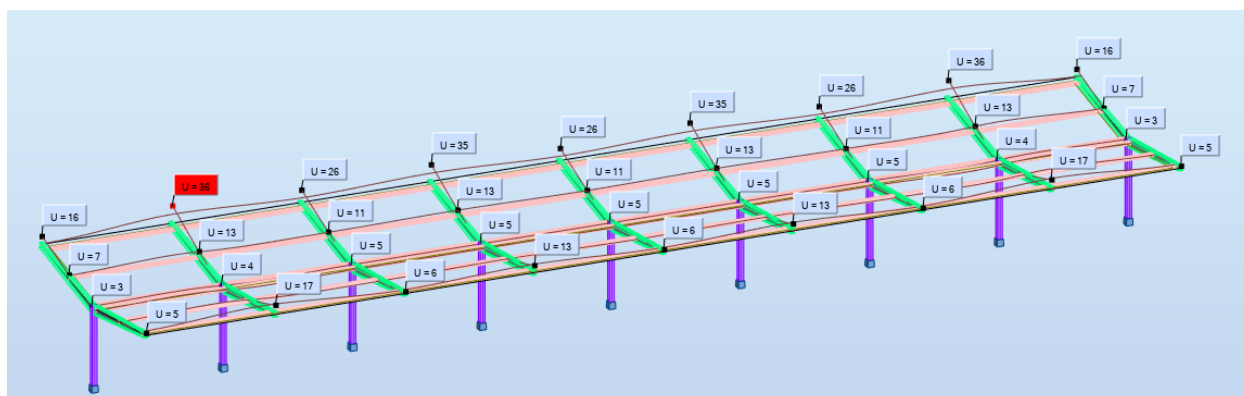


Slika 34 - Dijagrami uzdužnih sila (F_x)

Vrijednosti pomaka od vlastite težine konstrukcije su prikazane na Slici 35, a od mjerodavne kombinacije za granično stanje uporabivosti – broj 2 (COMB 18) na Slici 36.



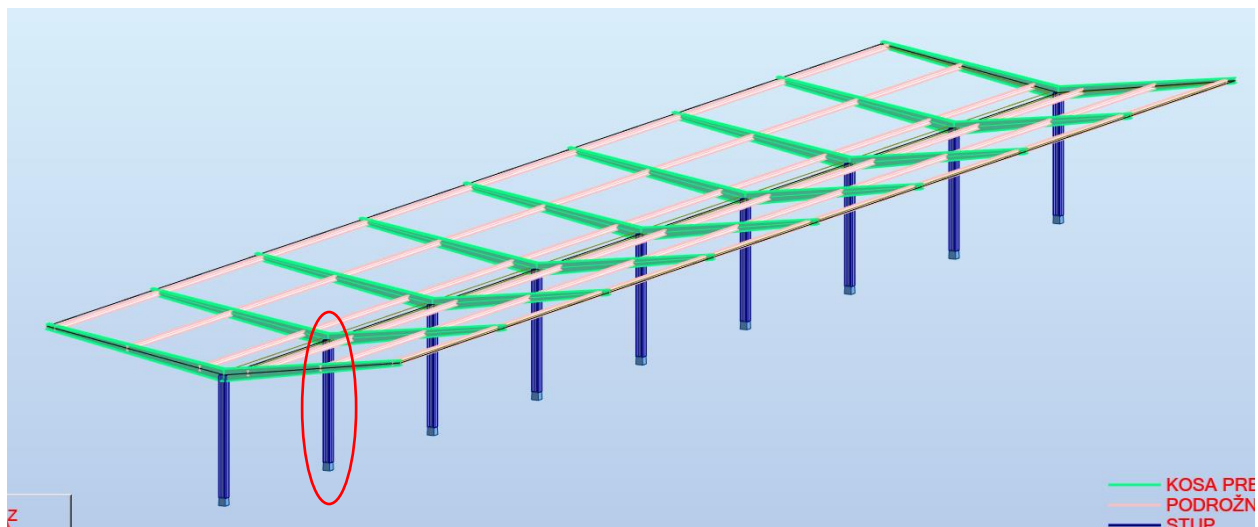
Slika 35 - Vrijednosti pomaka od vlastite težine konstrukcije



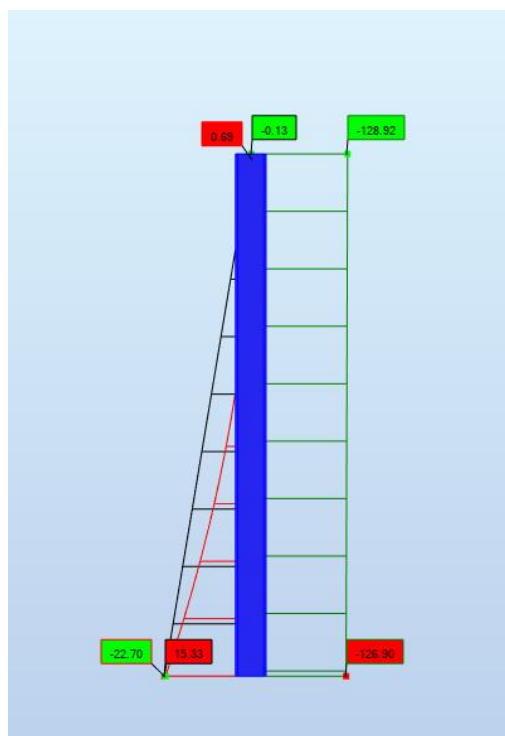
Slika 36 - Vrijednosti pomaka za mjerodavnu kombinaciju GSU

6. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE ZA GSN

6.1. Dimenzioniranje stupa

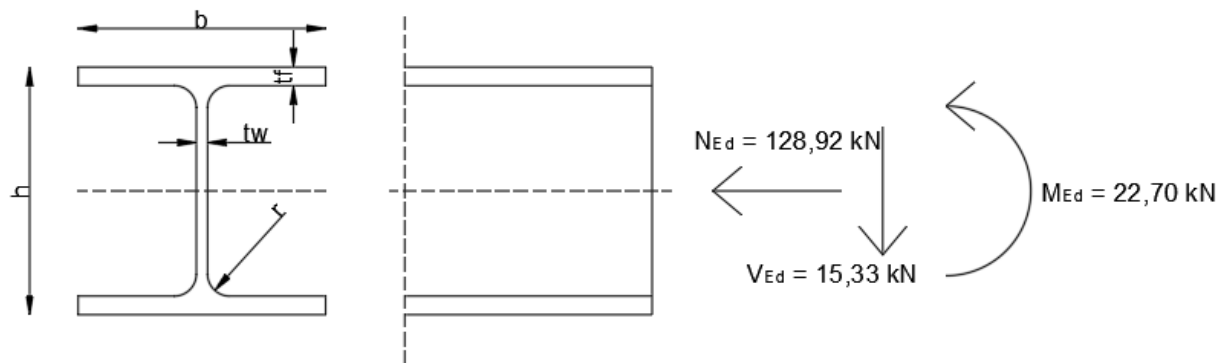


Slika 38 - Položaj najopterećenijeg stupa



Slika 37 - Sile i momenti koji djeluju na stup (COMB5)

a) Provjera otpornosti poprečnog presjeka HE-B 180:



Slika 39 - Sile i momenti koji djeluju na poprečni presjek stupa

Tablica 11 – Karakteristike poprečnog presjeka stupa

PROFIL	HE-B 180	A	65,25	cm ²	G		51,2	kg/m	
DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA				STATIČKE VELIČINE					
h	180	mm	OS y-y			OS z-z			
b	180	mm	I _y	3831	cm ⁴	I _z	1363	cm ⁴	
t _w	8,5	mm	W _y	425,7	cm ³	W _z	151,4	cm ³	
t _f	14	mm	W _{pl,y}	481,4	cm ³	W _{pl,z}	231,0	cm ³	
r	15	mm	i _y	7,66	cm	i _z	4,57	cm	
KONSTANTE			A _{v,z}	20,24	cm ²	A _{v,y}	52,40	cm ²	
I _t	42,16	cm ⁴							
I _w	93,75*10 ³	cm ⁶							
S275									
E	210000	N/mm ²	ρ			7850			
G	81000	N/mm ²	f _y			275			
v	0,3		f _u			430			

Klasifikacija hrpta:

Klasifikacija hrpta se provodi pomoću Tablice 12 koja služi za provjeru unutarnjih elemenata.

Tablica 12 - Klasifikacija unutarnjih tlačnih elemenata [5]

unutrašnji tlačni elementi			
klasa	savijanje	tlak	savijanje i tlak
<i>raspodjela naprezanja po elementu (tlak pozitivan)</i>			
1	$\frac{c}{t} \leq 72\epsilon$	$\frac{c}{t} \leq 33\epsilon$	za $\alpha > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ za $\alpha \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$
2	$\frac{c}{t} \leq 83\epsilon$	$\frac{c}{t} \leq 38\epsilon$	za $\alpha > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ za $\alpha \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$
<i>raspodjela naprezanja po elementu (tlak pozitivan)</i>			
3	$\frac{c}{t} \leq 124\epsilon$	$\frac{c}{t} \leq 42\epsilon$	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 $\sigma \leq f_t$, ili kada je vlačna deformacija $\epsilon_s > f_t/E$			

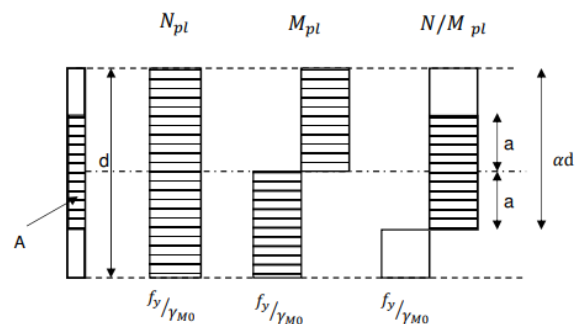
Uvjet za klasu I:

Proračun α :

$$N_{Ed} = N_{pl}$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2a \cdot t_w) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2t_w \cdot f_y} = \frac{128,92}{2 \cdot 0,85 \cdot 27,5} = 0,28 \text{ cm}$$



$$\alpha d = \frac{d}{2} + a$$

$$d = h - 2t_f - 2r = 180 - 2 \cdot 14 - 2 \cdot 15 = 122 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{122} \left(\frac{122}{2} + 0,28 \right) = 0,5$$

α je jednak 0.5 pa za proračun koristimo izraz: $\frac{c}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$

gdje je $c = d$, $t = t_w$, a $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$.

$$\frac{122}{8,5} \leq \frac{36 \cdot 0,92}{0,5}$$

$14,35 < 66,37 \rightarrow$ Uvjet za klasu I je zadovoljen, prema tome hrbat je klasa I.

Klasifikacija pojasnice:

Obje pojasnice su vanjski elementi i opterećene na tlak pa za klasifikaciju koristimo Tablicu 13 za klasifikaciju pojasnice.

Tablica 13 - Klasifikacija vanjskih tlačnih elemenata [5]

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	$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t} \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$\frac{c}{t} \leq 10\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t} \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
raspodjela naprezanja po elementu (tlak pozitivan)			
3	$\frac{c}{t} \leq 14\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	

Uvjet za klasu I:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{180}{2} - \frac{8,5}{2} - 15 = 70,75 \text{ mm}$$

$$t = t_f = 14 \text{ mm}$$

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

$$\frac{70,75}{14} \leq 9 \cdot 0,92$$

$5,05 < 8,32 \rightarrow$ Uvjet za klasu I je zadovoljen, pojasnice su klasa I.

Na osnovu toga što su i hrbat i pojasnice klasa I, cijeli poprečni presjek klasificiramo kao klasa I.

Otpornost poprečnog presjeka na tlak:

Za klasu I:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{65,25 \cdot 27,5}{1,0} = 1794,38 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$128,92 \text{ kN} < 1794,38 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{128,92}{1794,38} = 0,072 \approx 7,2\%.$$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

Za klasu I:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{481,4 \cdot 27,5}{1,0} = 13238,5 \text{ kNcm} = 132,39 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$22,7 \text{ kN} < 132,39 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{22,7}{132,39} = 0,175 \approx 17,5 \%$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu:

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}, \text{ gdje je:}$$

- $h_w = h - 2t_f = 180 - 2 \cdot 14 = 152 \text{ mm}$ – visina hrpta između pojasnica
- η - faktor posmične površine, ima vrijednost 1,2 za valjane profile

$$\frac{152}{8,5} \leq 72 \frac{0,92}{1,2}$$

$$17,88 < 55,2 \text{ Nema izbočivanja hrpta.}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

- A_v – posmična površina presjeka

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r)t_f \geq \eta h_w t_w$$

$$A_v = 65,25 - 2 \cdot 18 \cdot 1,4 + (0,85 + 2 \cdot 1,5)1,4 \geq 1,2 \cdot 15,2 \cdot 0,9$$

$$A_v = 20,24 \text{ cm}^2 > 15,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 20,24 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1} = 321,35 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$15,33 \text{ kN} < 321,35 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{15,33}{321,35} = 0,05 \approx 5\%.$$

Interakcija savijanja i tlaka:

Za klasu 1:

Provjera razine uzdužne sile:

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

$$128,92 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 1794,38 \text{ kN}$$

$$128,92 \text{ kN} < 448,6 \text{ kN}$$

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

$$128,92 \leq \frac{0,5 \cdot 15,2 \cdot 8,5 \cdot 2 \cdot ,5}{1}$$

$$128,92 \text{ kN} < 177,65 \text{ kN}$$

Oba navedena uvjeta su zadovoljena što znači da je razina uzdužne sile niska pa ona nema utjecaj na otpornost presjeka na savijanje.

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

$$22,7 \text{ kN} < 132,39 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{22,7}{132,39} = 0,175 \approx 17,5\%.$$

Interakcija savijanja i posmika:

Provjera razine poprečne sile:

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

$$15,33 \text{ kN} < 0,5 \cdot 321,35 \text{ kN}$$

$$15,33 \text{ kN} < 106,68 \text{ kN}$$

Budući da računaska poprečna sila ne prelazi polovinu vrijednosti plastične otpornosti na poprečnu silu, nije potrebno provoditi redukciju plastične otpornosti na savijanje.

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

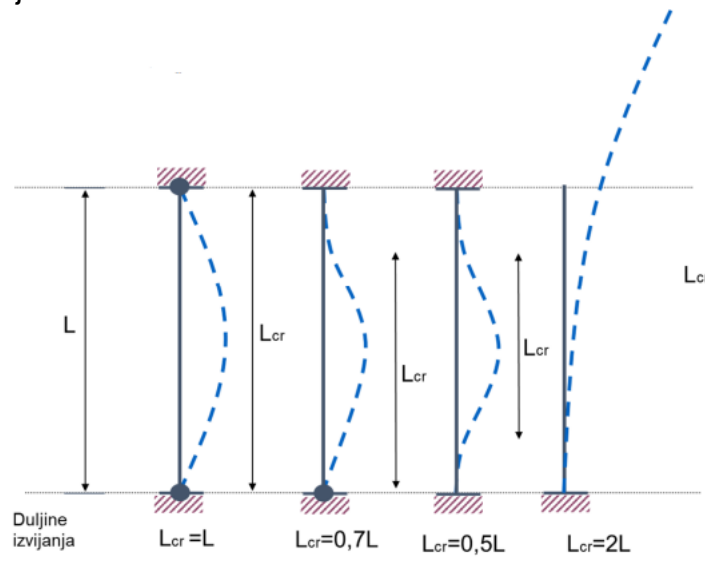
$$22,7 \text{ kN} < 132,39 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{22,7}{132,39} = 0,175 \approx 17,5\%.$$

b) Otpornost elementa na izvijanje:

Duljina izvijanja L_{cr} :



Slika 40 - Duljine izvijanja stupova za različite slučajeve [5]

U ovom radu za stup nadstrešnice odgovara slučaj $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 0,7L = 2,03 \text{ m}$ prema Slici 40.

Provjera izvijanja oko osi y – y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3831}{203^2} = 19268,11 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{65,25 \cdot 27,5}{19268,11}} = 0,31$$

$$\frac{h}{b} < 1,2 \rightarrow \frac{180}{180} < 1,2 \rightarrow 1 < 1,2 \quad \& \quad t_f \leq 100 \text{ mm} \rightarrow 14 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Iz navedenih uvjeta slijedi za izvijanje oko osi y – y se koristi b linija izvijanja (Tablica 14).

Tablica 14 - Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeke [5]

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

Iz Tablice 15 slijedi da je $\alpha (y-y) = 0,34$.

Tablica 15 - Faktori imperfekcije α_{LT} zavisi od krivulje izvijanja [5]

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

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5[1 + 0,34(0,31 - 0,2) + 0,31^2] = 0,56$$

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

$$\chi_y = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,31^2}} \leq 1$$

$$0,96 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = \chi_y \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,96 \frac{65,25 \cdot 27,5}{1} = 1726,56 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$128,92 \text{ kN} \leq 1726,56 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{128,92}{1726,56} = 0,075 \approx 7,5\%.$$

Provjera izvijanja oko osi z - z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1363}{203^2} = 6855,24 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{65,25 \cdot 27,5}{6855,24}} = 0,51$$

$$\frac{h}{b} < 1,2 \rightarrow \frac{180}{180} < 1,2 \rightarrow 1 < 1,2 \quad \& \quad t_f \leq 100 \text{ mm} \rightarrow 14 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Iz navedenih uvjeta slijedi za izvijanje oko z – z koristi c linija izvijanja (Tablica 14).

Iz Tablice 15 slijedi da je α (z-z) = 0,49.

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,49(0,51 - 0,2) + 0,51^2 \right] = 0,71$$

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

$$\chi_z = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,51^2}} \leq 1$$

$$0,83 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,83 \frac{65,25 \cdot 27,5}{1} = 1489,33 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$128,92 \text{ kN} \leq 1489,33 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{81,42}{1114,71} = 0,086 \approx 8,6 \%$$

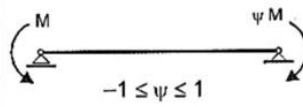



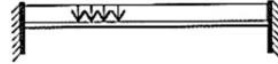

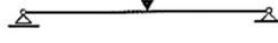

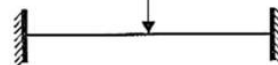
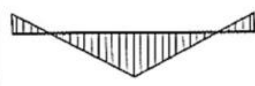
c) Otpornost elementa na bočno – torzijsko izvijanje:

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \right]$$

- $C_1 = 1,77$ – faktor koji ovisi o uvjetima na ležajevima i vrsti opterećenja, vrijednosti su očitane iz Tablice 16 za $\psi=0$.

Tablica 16 - Faktori C_i za izračun kritičnog momenta bočno-torzijskog izvijanja [5]

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

- $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21000}{2(1+0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$ – modul posmika
- $L = 290 \text{ cm}$ – razmak točaka bočnog pridržanja

$$M_{cr} = 1,77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1363}{290^2} \left[\sqrt{\frac{93750}{1363} + \frac{290^2 \cdot 8077 \cdot 42,16}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1363}} \right]$$

$$M_{cr} = 77556,37 \text{ kNcm}$$

Vitkost elementa:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{481,4 \cdot 27,5}{77556,37}} = 0,41$$

Faktor imperfekcije α_{LT} – određuje se pomoću Tablice 14 i Tablice 15.

$$\text{Valjani presjek} \rightarrow \frac{h}{b} = \frac{180}{180} = 1 = 1 \rightarrow \text{krivulja izvijanja a} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21.$$

Faktor bočno – torzijskog izvijanja:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5[1 + 0,21(0,41 - 0,2) + 0,41^2] = 0,61$$

Faktor redukcije:

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,41^2}} \leq 0,94$$

$$\chi_{LT} = 0,94 \leq 1$$

Za proračun otpornosti elementa na bočno torzijsko izvijanje koristimo sljedeću formulu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,94 \cdot \frac{481,4 \cdot 27,5}{1,1}$$

$$M_{b,Rd} = 113,13 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$22,7 \text{ kNm} < 113,13 \text{ kNm}$$

d) Interakcija izvijanja i bočno – torzijskog izvijanja:

Da bi element zadovoljio provjeru otpornosti kada istovremeno djeluje savijanje i uzdužna sila, moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti nosivosti:

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

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

Određivanje interakcijskog faktora k_{ij} :

Interakcijski faktor k_{ij} se određuje prema EN 1993-1-1, koristeći jednu od dvije metode dane u Dodatku A i Dodatku B. U ovom radu koristi se Metoda 2 (Dodatak A u EN 1993-1-1).

Za klasu poprečnog presjeka 1 i 2 (Tablica 17):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \geq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,51 > 0,4$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

Tablica 17 – Faktori međudjelovanja kij za elemente neosjetljive na torzijsko deformiranje [5]

Faktor međudjelovanja	Vrsta profila	Pretpostavke proračuna	
		Svojstva elastičnog poprečnog presjeka razred 3, razred 4	Svojstva plastičnog poprečnog presjeka razred 1, razred 2
k_{yy}	Profili I Profili RHS	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	Profili I Profili RHS	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	Profili I Profili RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	Profili I	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Profili RHS		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Za profile I i H i pravokutne šuplje profile izložene osnom tlaku i jednoosnom savijanju $M_{y,Ed}$ koeficijent k_{zy} smije se uzeti $k_{zy} = 0$.

Vrijednosti k_{yz} i k_{zz} nije potrebno računati jer je moment $M_{z,Ed} = 0$.

Određivanje C_{mi} pomoću Tablice 18:

Tablica 18 – Faktori ekvivalentnog jednolikog momenta [5]

Momentni dijagram	Područje	C_{my}, C_{mz}, C_{mLT}	
		Jednoliko opterećenje	Koncentrirano opterećenje
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 < \alpha_s < 1$	$-1 < \psi < 1$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi < 1$	$0,1 - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
		$-1 < \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$0 < \alpha_h < 1$	$-1 < \psi < 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
	$0 < \psi < 1$		$0,95 + 0,05\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 < \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1 + 2\psi)$
			$0,90 + 0,10\alpha_h(1 + 2\psi)$

Za elemente s bočno pomičnim načinom izvijanja, faktor ekvivalentnog jednolikog momenta uzima se $C_{my} = 0,9$ ili $C_{mz} = 0,9$.

C_{my}, C_{mz} i C_{mLT} trebaju biti određeni prema dijagramu momenata savijanja između točaka pridržanja kako slijedi:

Faktor momenta	osi savijanja	pridrzanje u smjeru
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y

$$M_h = -22,7 \text{ kNm}$$

$$M_s = -6,81 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = 0,30 \rightarrow 0 \leq \alpha_s \leq 1$$

$$\psi = -\frac{0,69}{22,7} = -0,03 \rightarrow -1 \leq \psi \leq 1$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot 0,3 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,44 > 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,2 + 0,8 \cdot 0,3 \geq 0,4 \rightarrow C_{mLT} = 0,44 > 0,4$$

$$k_{yy} = 0,44 \cdot \left(1 + (0,31 - 0,2) \cdot \frac{128,92}{0,96 \cdot 1794,38} \right) \leq 0,44 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{128,92}{0,96 \cdot 1794,38} \right)$$

$$k_{yy} = 0,44 < 0,47 \rightarrow k_{yy} = 0,44$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,51}{(0,44 - 0,25)} \cdot \frac{128,92}{0,83 \cdot \frac{1794,38}{1,0}} \right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{(0,44 - 0,25)} \cdot \frac{128,92}{0,83 \cdot \frac{1794,38}{1,0}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,98 > 0,95 \rightarrow k_{zy} = 0,98$$

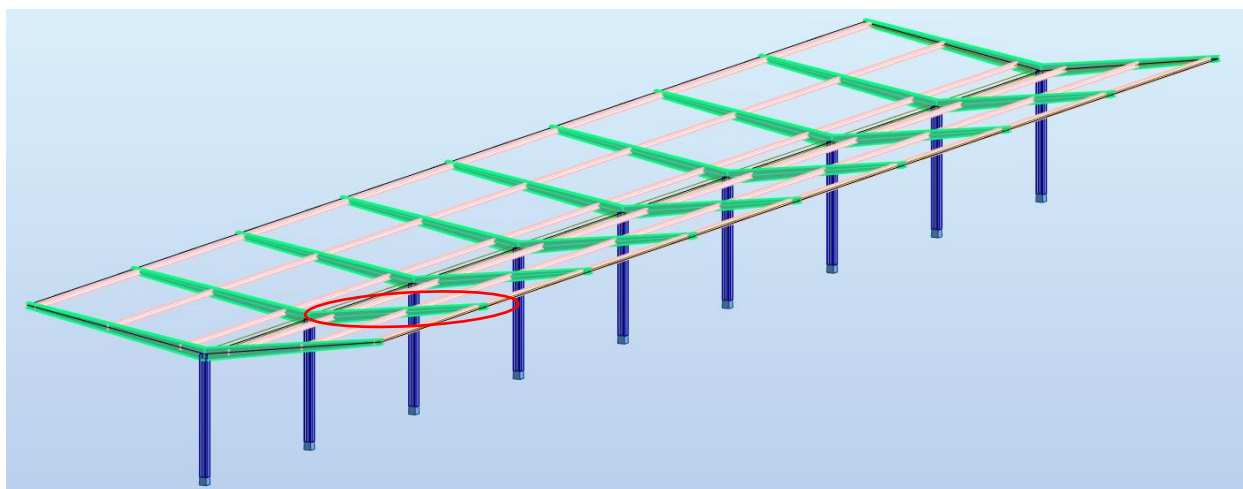
Uvjeti nosivosti:

$$\frac{128,92}{0,96 \cdot 1794,38} + 0,44 \cdot \frac{22,7}{0,94 \cdot 132,39} \leq 1$$

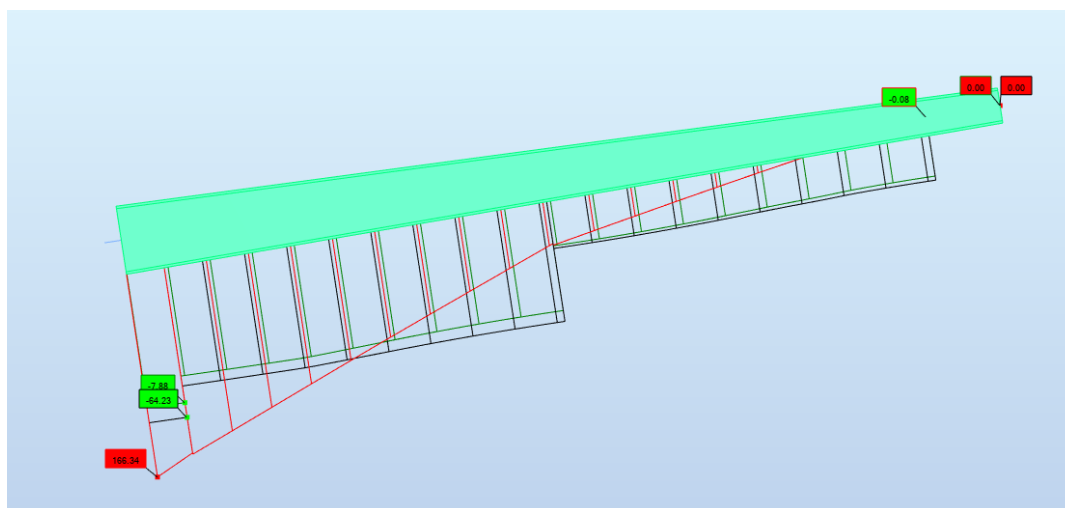
$$0,16 < 1$$

Uvjet nosivosti zadovoljen, otpornost elementa zadovoljava na bočno – torzijsko izvijanje. Iskoristivost je 16%, što znači da je presjek predimenzioniran i trebalo bi ga optimizirati na najveću iskoristivost. Međutim, presjek je ostavljen zbog detalja spajanja kose prečke na stup. Kosa prečka je dimenzionirana na presjek čija je širina 170 mm pa širina stupa ne smije biti manja od 170 mm.

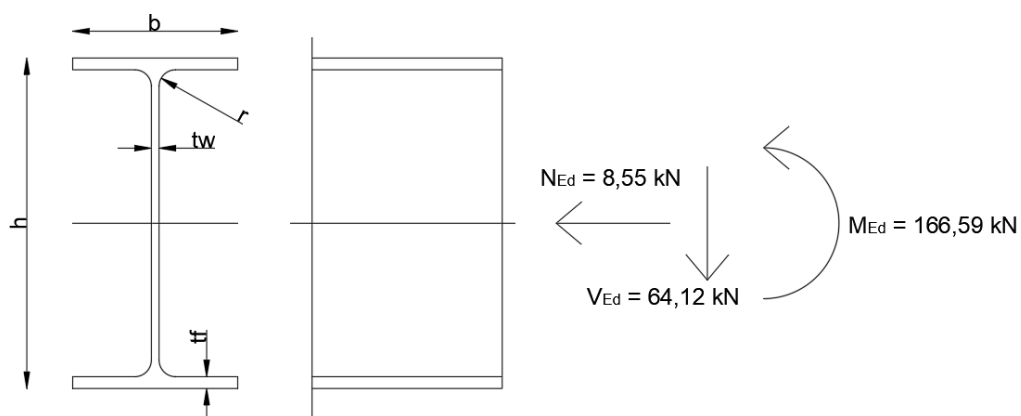
6.2. Dimenzioniranje kose prečke



Slika 41 – Položaj najopterećenije kose prečke



Slika 42 - Sile i momenti koji djeluju na kosu prečku (COMB5)



Slika 43 - Sile i momenti koji djeluju na poprečni presjek kose prečke

a) Provjera otpornosti poprečnog presjeka IPE 360:

Tablica 19 - Karakteristike poprečnog presjeka kose prečke

PROFIL	IPE 360	A	72,73	cm ²	G	57,1	kg/m	
DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA				STATIČKE VELIČINE				
h	360	mm	OS y-y			OS z-z		
b	170	mm	I _y	16270	cm ⁴	I _z	1043	cm ⁴
t _w	8	mm	W _y	903,6	cm ³	W _z	122,8	cm ³
t _f	12,7	mm	W _{pl,y}	1019	cm ³	W _{pl,z}	191,1	cm ³
r	18	mm	i _y	14,95	cm	i _z	3,79	cm
KONSTANTE			A _{v,z}	35,14	cm ²	A _{v,y}	45,26	cm ²
l _t	37,32	cm ⁴						
l _w	313,6*10 ³	cm ⁶						
S275								
E	210000	N/mm ²	ρ			7850		
G	81000	N/mm ²	f _y			275		
v	0,3		f _u			430		

Klasifikacija hrpta:

Uvjet za klasu I:

Proračun α:

$$N_{Ed} = N_{pl}$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2a \cdot t_w) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

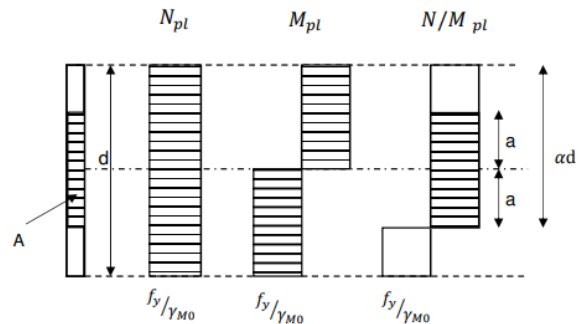
$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{8,55}{\frac{2 \cdot 0,8 \cdot 27,5}{1,0}}$$

$$a = 0,19 \text{ cm}$$

$$\alpha d = \frac{d}{2} + a$$

$$d = h - 2t_f - 2r = 360 - 2 \cdot 12,7 - 2 \cdot 18 = 298,6 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{298,6} \left(\frac{298,6}{2} + 0,19 \right)$$



$$\alpha = 0,51$$

α je veći od 0,5 pa za proračun koristimo izraz: $\frac{c}{t} \leq \frac{369\varepsilon}{13\alpha - 1}$

gdje je $c = d$, $t = t_w$, a $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$.

$$\frac{298,6}{8} \leq \frac{369 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,51 - 1}$$

$37,33 < 65,55 \rightarrow$ Uvjet za klasu I je zadovoljen, prema tome hrbat je klasa I.

Klasifikacija pojasnice:

Obje pojasnice su vanjski elementi i opterećene na tlak.

Uvjet za klasu I:

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

$$t = t_f = 12,7 \text{ mm}$$

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

$$\frac{63}{12,7} \leq 9 \cdot 0,92$$

$4,96 < 8,32 \rightarrow$ Uvjet za klasu I je zadovoljen, pojasnice su klasa I.

Na osnovu toga što su i hrbat i pojasnice klasa I, cijeli poprečni presjek klasificiramo kao klasa I.

Otpornost poprečnog presjeka na tlak:

Za klasu I:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72,73 \cdot 27,5}{1,0} = 2000,08 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$8,55 \text{ kN} < 2000,08 \text{ kN} \rightarrow$ Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{8,55}{2000,08} = 0,0043 \approx 0,43\%.$$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

Za klasu I:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \cdot 27,5}{1,0} = 280,23 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$166,59 \text{ kN} < 280,23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{166,59}{280,23} = 0,60 \approx 60 \%$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu:

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}, \text{ gdje je:}$$

- $h_w = h - 2t_f = 360 - 2 \cdot 12,7 = 334,6 \text{ mm}$ – visina hrpta između pojasnica
- η - faktor posmične površine, ima vrijednost 1,2 za valjane profile

$$\frac{334,6}{8} \leq 72 \frac{0,92}{1,2}$$

$$41,83 < 55,2 \text{ Nema izbočivanja hrpta.}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

- A_v – posmična površina presjeka

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r)t_f \geq \eta h_w t_w$$

$$A_v = 72,73 - 2 \cdot 17 \cdot 1,27 + (0,8 + 2 \cdot 1,8)1,27 \geq 1,2 \cdot 33,46 \cdot 0,8$$

$$A_v = 35,14 \text{ cm}^2 > 32,12 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 35,14 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1} = 557,89 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$64,12 \text{ kN} < 557,89 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{64,12}{557,89} = 0,12 \approx 12\%.$$

Interakcija savijanja i tlaka:

Za klasu 1:

Provjera razine uzdužne sile:

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

$$8,55 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 2000,08 \text{ kN}$$

$$8,55 \text{ kN} < 500,02 \text{ kN}$$

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

$$8,55 \leq \frac{0,5 \cdot 33,46 \cdot 0,8 \cdot 27,5}{1}$$

$$8,55 \text{ kN} \leq 368,06 \text{ kN}$$

Oba navedena uvjeta su zadovoljena što znači da je razina uzdužne sile niska pa ona nema utjecaj na otpornost presjeka na savijanje.

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

$$166,59 \text{ kN} < 280,23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{166,59}{280,23} = 0,6 \approx 60 \%$$

Interakcija savijanja i posmika:

Provjera razine poprečne sile:

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

$$64,12 \text{ kN} < 0,5 \cdot 557,89 \text{ kN}$$

$$64,12 \text{ kN} < 278,95 \text{ kN}$$

Budući da računski poprečna sila ne prelazi polovinu vrijednosti plastične otpornosti na poprečnu silu, nije potrebno provoditi redukciju plastične otpornosti na savijanje.

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

$$166,59 \text{ kN} < 280,23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{166,59}{280,23} = 0,6 \approx 60 \%$$

b) Provjera torzijskog izvijanja elementa:

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \right]$$

- $C_1 = 1,77$ – faktor koji ovisi o uvjetima na ležajevima i vrsti opterećenja. Vrijednosti su očitane iz Tablice 16 za $\psi=0$.
- $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21000}{2(1+0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$ – modul posmika
- $L = 475 \text{ cm}$ – razmak točaka bočnog pridržanja

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 16270}{475^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{313600}{16270} + \frac{475^2 \cdot 8077 \cdot 37,32}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 16270}} \right]$$

$$M_{cr} = 166141,28 \text{ kNcm}$$

Vitkost elementa:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019 \cdot 27,5}{166141,28}} = 0,41$$

Faktor imperfekcije α_{LT} – određuje se pomoću Tablice 14 i Tablice 15.

$$\text{Valjani presjek} \rightarrow \frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,11 < 2 \rightarrow \text{krivulja izvijanja a} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34.$$

Bočno – torzijsko izvijanje:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 [1 + 0,34(0,41 - 0,2) + 0,41^2] = 0,62$$

Faktor redukcije:

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,41^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,92 \leq 1$$

Za proračun otpornosti sekundarnog nosača klase I na bočno torzijsko izvijanje koristimo sljedeću formulu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,92 \cdot \frac{1019 \cdot 27,5}{1,1}$$

$$M_{b,Rd} = 234,83 \text{ kNm}$$

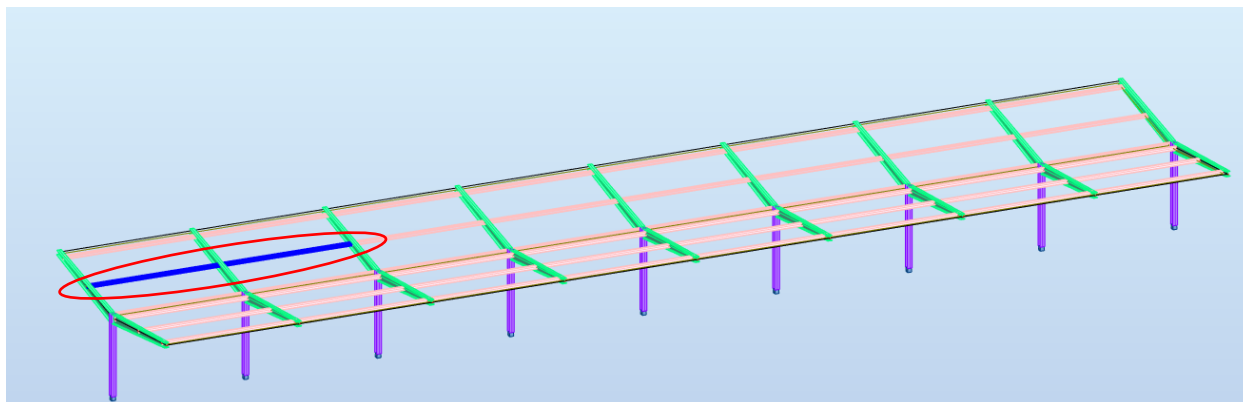
Uvjet nosivosti:

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

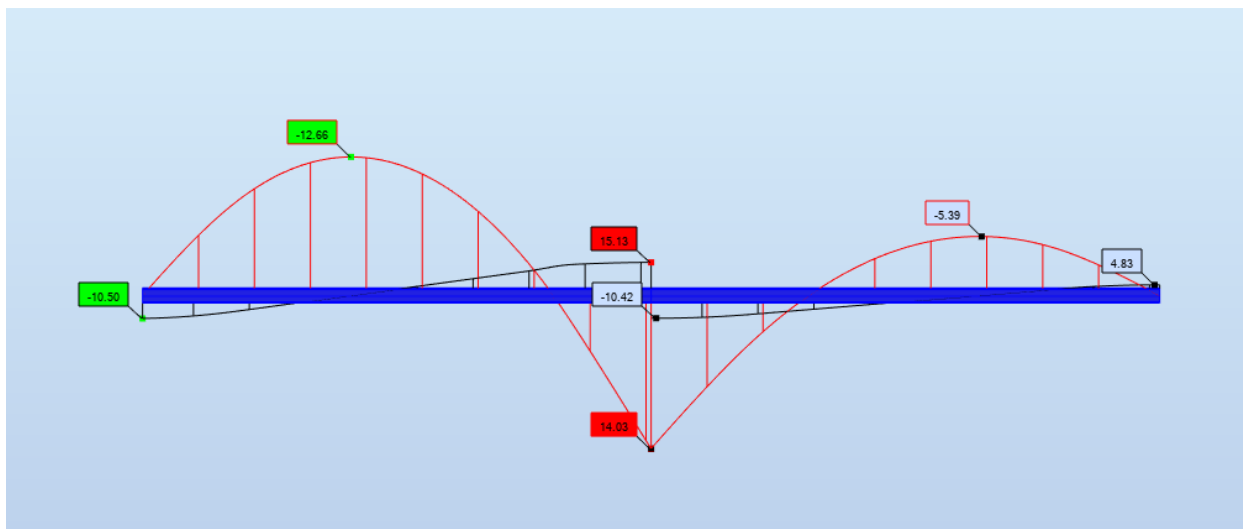
$$166,59 \text{ kNm} < 34,83 \text{ kNm (71\%)}$$

Uvjet nosivosti zadovoljen, otpornost elementa zadovoljava na bočno – torzijsko izvijanje.

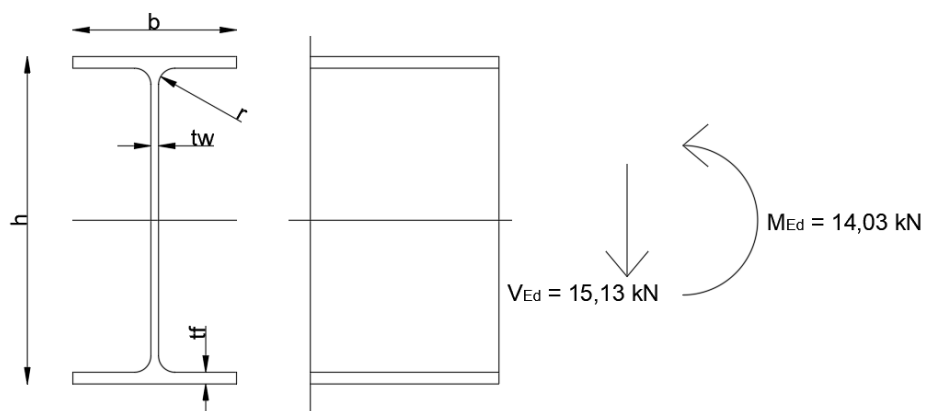
6.3. Dimenzioniranje sekundarnog nosača



Slika 46 – Položaj najopterećenijeg sekundarnog nosača



Slika 45 - Sile i momenti koji djeluju na sekundarni nosač (COMB5)



Slika 44 - Sile i momenti koji djeluju na poprečni presjek sekundarnog nosača

a) Provjera otpornosti poprečnog presjeka IPE 140:

Tablica 20 - Karakteristike poprečnog presjeka sekundarnog nosača

PROFIL	IPE 140	A	16,43	cm ²	G	12,9	kg/m
DIMENZIJE POPREČNOG PRESJEKA				STATIČKE VELIČINE			
h	140	mm	OS y-y			OS z-z	
b	73	mm	I _y	541,2	cm ⁴	I _z	44,92 cm ⁴
t _w	4,7	mm	W _y	77,32	cm ³	W _z	12,31 cm ³
t _f	6,9	mm	W _{pl,y}	88,34	cm ³	W _{pl,z}	19,25 cm ³
r	7	mm	i _y	5,74	cm	i _z	1,65 cm
KONSTANTE			A _{v,z}	7,64	cm ²	A _{v,y}	10,62 cm ²
I _t	2,45	cm ⁴	S275				
I _w	1,98*10 ³	cm ⁶					
E	210000	N/mm ²	ρ		7850		
G	81000	N/mm ²	f _y		275		
v	0,3		f _u		430		

Klasifikacija hrpta:

Uvjet za klasu I:

Hrpat je unutarnji element opterećen na savijanje pa koristimo izraz:

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

$$c = h - 2t_f - 2r = 140 - 13,8 - 7 = 112,2 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 4,7 \text{ mm}$$

$$23,87 \leq 66,56 \rightarrow \text{Uvjet za klasu I je zadovoljen, prema tome hrpat je klasa I.}$$

Klasifikacija pojasnica:

Gornja pojasnica je vanjski element opterećen na tlak pa koristimo izraz:

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

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = 36,5 - 2,35 - 7 = 27,15 \text{ mm}$$

$$t = t_f = 6,9 \text{ mm}$$

$3,93 \leq 8,32 \rightarrow$ Uvjet za klasu I je zadovoljen, prema tome pojasnica je klasa I.

Pojasnica i hrpat su klasa I što znači da je cijeli poprečni presjek klasa I.

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

Za klasu I:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88,34 \cdot 27,5}{1,0} = 2429,35 \text{ kNcm} = 24,29 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$14,03 \text{ kN} < 24,29 \text{ kN}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{14,03}{24,29} = 0,58 \approx 58 \%$$

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu:

Provjera izbočivanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\epsilon}{\eta}, \text{ gdje je:}$$

- $h_w = h - 2t_f = 140 - 2 \cdot 6,9 = 126,2 \text{ mm}$ – visina hrpta između pojasnica
- η - faktor posmične površine, ima vrijednost 1,2 za valjane profile

$$26,85 < 55,46 \quad \text{Nema izbočivanja hrpta.}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

- A_v – posmična površina presjeka

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r)t_f \geq \eta h_w t_w$$

$$A_v = 16,43 - 2 \cdot 7,3 \cdot 0,69 + (0,47 + 2 \cdot 0,7)0,69 \geq 1,2 \cdot 12,62 \cdot 0,47$$

$$A_v = 7,64 \text{ cm}^2 > 7,12 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 7,64 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1} = 121,40 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$15,13 \text{ kN} < 121,40 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{15,13}{121,40} = 0,12 \approx 12\%.$$

Interakcija savijanja i posmika:

Provjera razine poprečne sile:

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

$$15,13 \text{ kN} < 0,5 \cdot 121,40 \text{ kN}$$

$$15,13 \text{ kN} < 60,70 \text{ kN}$$

Budući da računaska poprečna sila ne prelazi polovinu vrijednosti plastične otpornosti na poprečnu silu, nije potrebno provoditi redukciju plastične otpornosti na savijanje.

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

$$14,03 \text{ kN} < 24,29 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost poprečnog presjeka je

$$\frac{14,03}{24,29} = 0,58 \approx 58\%.$$

a) Otpornost elementa na bočno - torzijsko izvijanje:

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \right]$$

– $C_1 = 1,77$ – faktor koji ovisi o uvjetima na ležajevima i vrsti opterećenja. Vrijednosti su očitane iz Tablice 16 za $\psi=0$.

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

– $L = 500 \text{ cm}$ – razmak točaka bočnog pridržanja

$$M_{cr} = 1,77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 541,2}{500^2} \left[\sqrt{\frac{1980}{541,3} + \frac{500^2 \cdot 8077 \cdot 2,45}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 541,3}} \right]$$

$$M_{cr} = 5488,51 \text{ kNcm}$$

Vitkost elementa:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{88,34 \cdot 27,5}{5488,51}} = 0,66$$

Faktor imperfekcije α_{LT} – određuje se pomoću Tablice 14 i Tablice 15.

Valjani presjek $\rightarrow \frac{h}{b} = \frac{140}{73} = 1,92 \leq 2 \rightarrow$ krivulja izvijanja a $\rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$.

Faktor bočnog – torzijskog izvijanja:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 [1 + 0,21(0,66 - 0,2) + 0,66^2] = 0,77$$

Faktor redukcije:

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,66^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,86 < 1$$

Za proračun otpornosti sekundarnog nosača klase I na bočno torzijsko izvijanje koristimo sljedeću formulu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,86 \cdot \frac{88,34 \cdot 27,5}{1.1}$$

$$M_{b,Rd} = 20,89 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

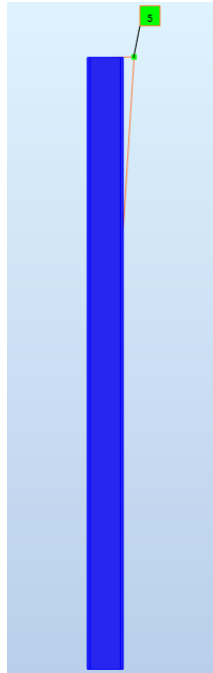
$$14,03 \text{ kNm} < 20,89 \text{ kNm} (67\%)$$

Uvjet nosivosti zadovoljen, otpornost elementa zadovoljava na bočno – torzijsko izvijanje.

7. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE ZA GSU

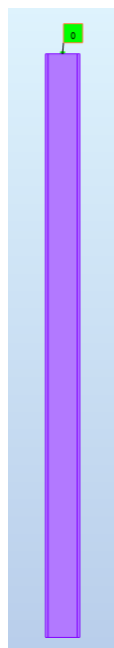
7.1. Provjera pomaka stupa

Pomak stupa za mjerodavnu kombinaciju GSU (COMB18) iznosi 5 mm (Slika 47),



Slika 47 - Pomak stupa – mjerodavna kombinacija

dok pomak od djelovanja vlastite težine iznosi 0 mm (Slika 48).

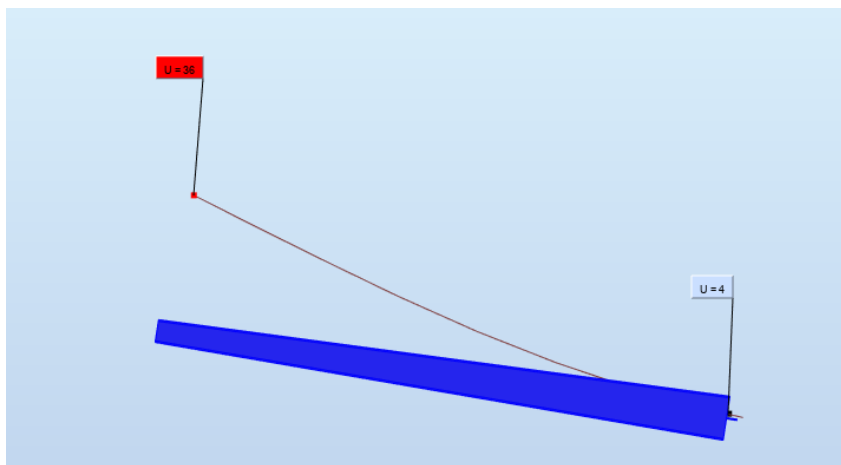


Slika 48 - Pomak stupa - vlastita težina

Najveći dopušteni pomak stupa iznosi $H/300 = 0,96$ cm odnosno 9,6 mm, što je veće i od pomaka od mjerodavne kombinacije i od pomaka zbog djelovanja vlastite težine. Prema tome stup zadovoljava kriterij graničnog stanja uporabljivosti.

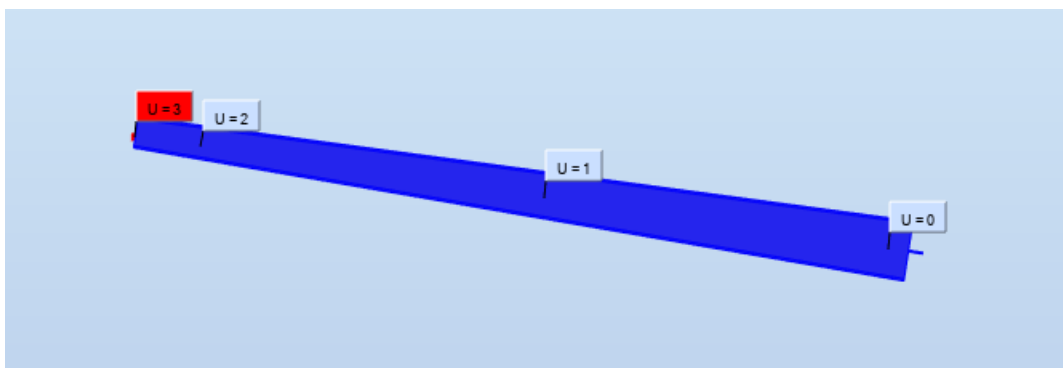
7.2. Provjera progiba kose prečke

Progib kose prečke za mjerodavnu kombinaciju GSU (COMB18) iznosi 36 mm (Slika 49),



Slika 49 - Progib kose prečke - mjerodavna kombinacija

dok progib od djelovanja vlastite težine iznosi 3 mm (Slika 50).

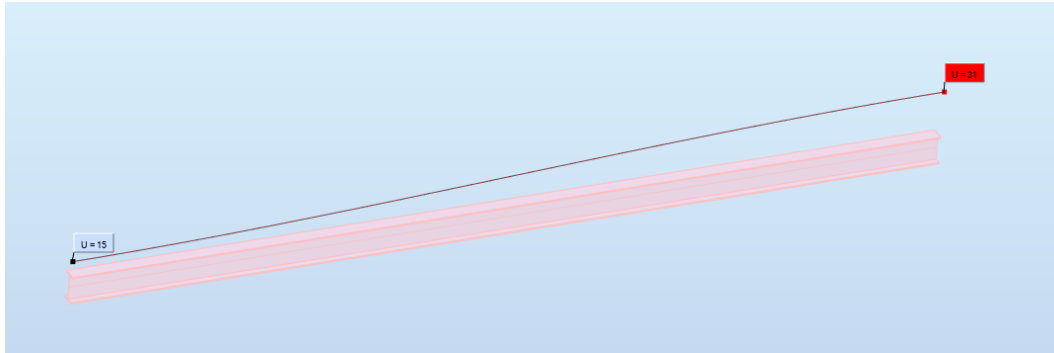


Slika 50 - Progib kose prečke - vlastita težina

Najveći dopušteni progib sekundarnog nosača iznosi $L/100 = 4,75$ cm odnosno 47,5 mm, što je veće i od progiba od mjerodavne kombinacije i od progiba zbog djelovanja vlastite težine. Prema tome kosa prečka zadovoljava kriterij graničnog stanja uporabljivosti.

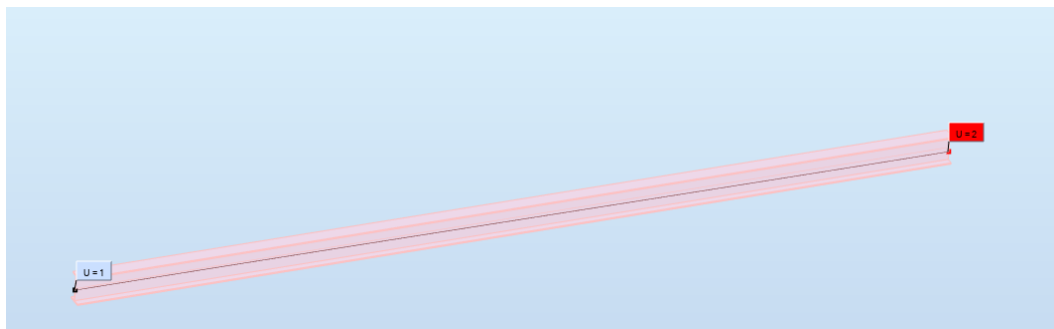
7.3. Provjera progiba sekundarnog nosača

Progib sekundarnog nosača za mjerodavnu kombinaciju GSU (COMB18) iznosi 17 mm (Slika 51),



Slika 51 - Progib sekundarnog nosača - mjerodavna kombinacija

dok progib od djelovanja vlastite težine iznosi 1 mm (Slika 52).

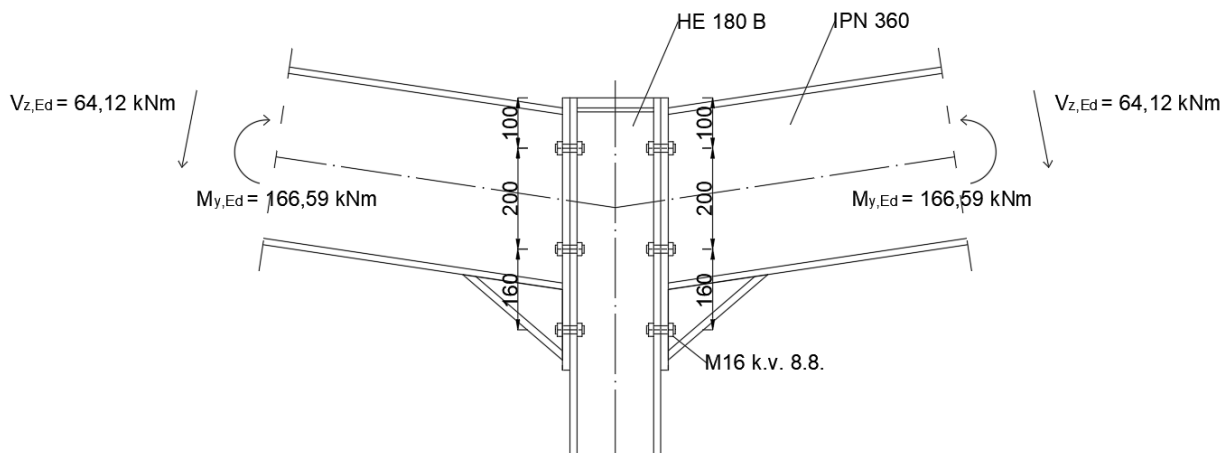


Slika 52 - Progib sekundarnog nosača - vlastita težina

Najveći dopušteni pomak sekundarnog nosača iznosi $L/250=2$ cm odnosno 20 mm, što je veće i od progiba od mjerodavne kombinacije i od progiba zbog djelovanja vlastite težine. Prema tome sekundarni nosač zadovoljava kriterij graničnog stanja uporabljivosti.

8. PRORAČUN SPOJEVA KONSTRUKCIJE

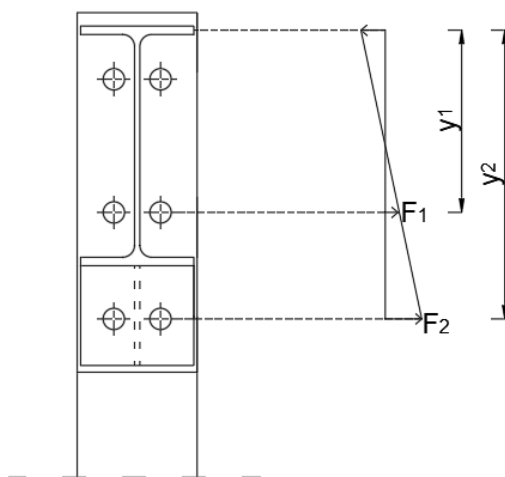
8.1. Spoj stupa i kose prečke



Slika 53 – Detalj obostrano simetričnog spoja kose prečke na stup - sile i momenti koji djeluju na spoj

Tablica 21 - Karakteristike vijaka korištenim u spoju kosa prečka - stup

M16 k.v. 8.8.		
f_{yb}	640	N/mm ²
f_{ub}	800	N/mm ³
d	16	mm
d_0	18	mm
A_s	157	mm ²



Slika 54 - Sile koje djeluju na vijke

Krak sile y_1 se računa prema izrazu: $y_1 = 200 + 80 - \frac{12,7}{2} = 273,65 \text{ mm}$

Krak sile y_2 se računa prema izrazu: $y_2 = 160 + 200 + 80 - \frac{12,7}{2} = 433,65 \text{ mm}$

$$\Sigma y_i^2 = 2(y_1^2 + y_2^2) = 2(273,65^2 + 433,65^2) = 0,5259 \text{ m}^2$$

$$\text{Sila } F_1 \text{ jednaka je : } F_1 = \frac{M_{y,Ed}}{\Sigma y_i^2} \cdot y_1 = \frac{166,59}{0,5259} \cdot 0,274 = 86,80 \text{ kN}$$

$$\text{Sila } F_2 \text{ jednaka je : } F_2 = \frac{M_{y,Ed}}{\Sigma y_i^2} \cdot y_2 = \frac{166,59}{0,5259} \cdot 0,434 = 137,48 \text{ kN}$$

a) Otpornost vijaka na vlak

Otpornost jednog vlačnog vijaka:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 80 \cdot 1,57}{1,25} = 90,43 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost vijaka na vlak iznosi:

$$\overline{F_{t,Rd}} = n \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 90,43 = 180,86 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$F_2 \leq F_{t,Rd}$$

$$137,48 \text{ kN} < 180,86 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost vijaka na vlak je

$$\frac{137,48}{180,86} = 0,76 \approx 76 \%$$

b) Otpornost vijaka na odrez (posmik):

Otpornost za jedan vijak i jednu reznju površinu se računa pomoću sljedeće formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

gdje je:

- $\alpha_v = 0,6$ – vrijednost uzeta za slučaj kada posmična površina prolazi kroz dio vijaka s navojem ($A=A_s$)
- $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ – vlačna čvrstoća vijaka uzeta iz Tablice 21

- $A = 157 \text{ mm}^2$ – površina jezgre vijka (Tablica 21)
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 1,57}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

Za spoj izveden sa 6 vijaka i 1 reznu površinu, ukupna otpornost vijaka u spoju iznosi:

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \cdot m \cdot F_{v,Rd} = 6 \cdot 1 \cdot 60,29 = 361,73 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$64,12 \text{ kN} < 361,73 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost vijka na odrez je

$$\frac{64,12}{361,73} = 0,18 \approx 18 \%$$

c) Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

Otpornost za jednu rupu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Koeficijent k_1 okomito na smjer naprezanja za krajnje vijke:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{55}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(5,3; 2,5) = 2,5$$

Koeficijent α_b u smjeru naprezanja za krajnje vijke:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{100}{3 \cdot 18}; \frac{800}{430}; 1\right) = 1$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 \text{ (S275)}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t = \min(t_p; t_f) = \min(15 \text{ mm}; 14 \text{ mm}) = 14 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 1,4}{1,25} = 192,64 \text{ kN}$$

Kako u spoju postoje 6 vijaka, pa samim time i 6 rupa, ukupna otpornost na pritisak po omotaču rupe u spoju iznosi:

$$\overline{F_{b,Rd}} = n \cdot F_{b,Rd} = 6 \cdot 192,64 = 1155,84 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$64,12 \text{ kN} \leq 1155,84 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost spoja je

$$\frac{64,12}{1155,84} = 0,06 = 6\%$$

d) Interakcija posmika i vlaka

Proračun interakcije je proveden za jedan vijak:

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

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{6} = 10,69 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{F_2}{2} = 68,74 \text{ kN}$$

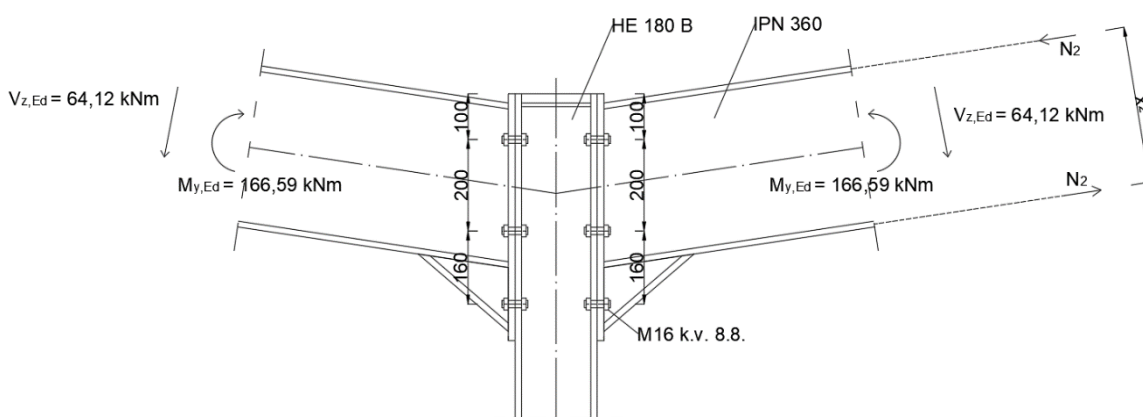
$$\frac{10,69}{64,12} + \frac{68,74}{1,4 \cdot 90,43} \leq 1$$

$$0,71 < 1 \text{ (71\%)}$$

Vijci zadovoljavaju nosivost.

e) Proračun zavarenog spoja

Djelovanje na zavar:



Slika 55 - Spoj kose prečke na stup - sile koje djeluju na zavar

Prilikom proračuna treba uzeti u obzir samo vlačno opterećene zavarane zavare. Prema tome treba izračunati komponentu N_2 .

$$x_2 = h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_f}{2} = 360 - \frac{12,7}{2} - \frac{12,7}{2} = 347,3 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{166,59}{0,3473} = 479,67 \text{ kN}$$

Također, kako N_2 djeluje samo na pola zavarane, uzima se u obzir samo pola sile $V_{z,Ed}$.

Sila koja djeluje na zavarane:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2} = \sqrt{\left(\frac{64,12}{2}\right)^2 + 479,67^2} = 480,74 \text{ kN}$$

Otpornost jednog centimetra zavarane iznosi:

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

Debljina zavarane a iznosi 6 cm, a korelacijski koeficijent β_w za kvalitetu čelika S275 ($f_u = 430 \text{ N/mm}^2$) je 0,85.

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3}} \cdot 0,85}{1,25} \cdot 0,6 = 14,02 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost zavarane :

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} \cdot \Sigma L = 14,02 \cdot 84,4 = 1183,3 \text{ kN}$$

gdje je $\Sigma L = 2[b + (b - t_w - 2r)] + (h_d - t_{fd}) \cdot 2 = 2[170 + (170 - 8 - 36)] + (140 - 14) \cdot 2 = 844 \text{ mm}$

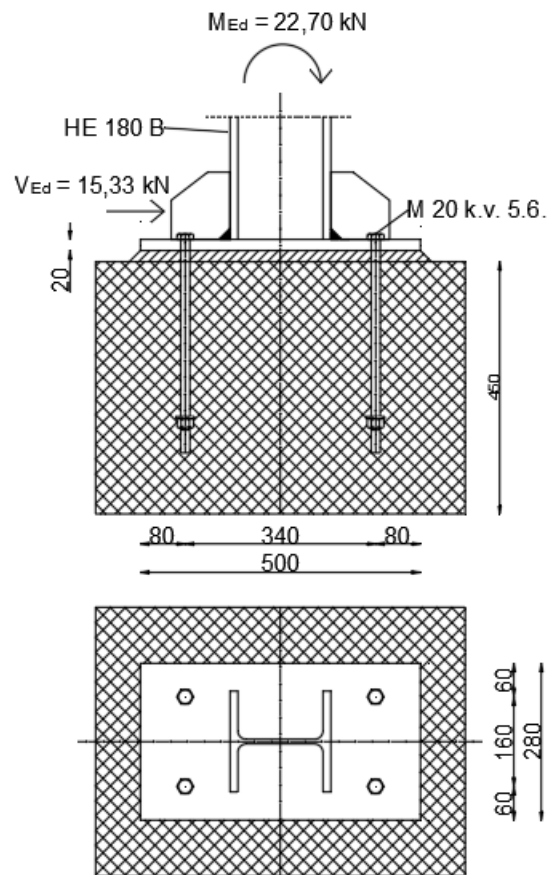
Uvjet nosivosti:

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

$$480,74 \text{ kN} \leq 1183,3 \text{ kN}$$

Zavarane je zadovoljno nosivost, iskoristivost zavarane je: $\frac{480,74}{1183,3} = 0,41 \approx 41\%$

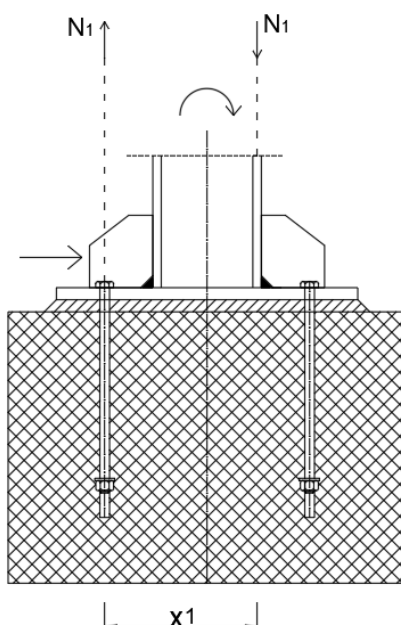
8.2. Spoj stupa na AB temelj



Slika 56 - Detalj spoja čeličnog stupa na AB temelj - sile i momenti koji djeluju na spoj

Tablica 22 - Karakteristike vijaka korištenih u spoju stup – AB temelj

M16 k.v. 5.8.		
f_{yb}	300	N/mm ²
f_{ub}	500	N/mm ²
d	20	mm
d_0	22	mm
A_s	245	mm ²



Slika 57 - Spoj stupa na AB temelj - vlačna sila od momenta koja djeluje na spoj

Krak sile N_1 se računa prema izrazu: $x_1 = 500 - 80 - 160 - \frac{14}{2} = 253 \text{ mm}$

Sila N_1 jednaka je : $N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{22,70}{0,253} = 89,72 \text{ kN}$

a) Otpornost vijaka na odrez (posmik):

Otpornost za jedan vijak i jednu reznu površinu se računa pomoću sljedeće formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Gdje je:

- $\alpha_v = 0.6$ – vrijednost uzeta za slučaj kada posmična površina prolazi kroz dio vijka s navojem ($A=A_s$)
- $f_{ub} = 500 \text{ N/mm}^2$ – vlačna čvrstoća vijka uzeta iz Tablice 22
- $A = 245 \text{ mm}^2$ – površina jezgre vijka (Tablica 22)
- $\gamma_{M2} = 1.25$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot 2,45}{1,25} = 58,8 \text{ kN}$$

Za spoj izveden sa 4 vijka i 1 reznu površinu, ukupna otpornost vijaka u spoju iznosi:

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \cdot m \cdot F_{v,Rd} = 4 \cdot 1 \cdot 58,8 = 235,2 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$15,33 \text{ kN} < 235,2 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost spoja je

$$\frac{15,33}{235,2} = 0,07 \approx 7\%$$

b) Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

Otpornost za jednu rupu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Koeficijent k_1 okomito na smjer naprezanja za krajnje vijke:

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{60}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,63; 2,5) = 2,5$$

Koeficijent α_b u smjeru naprezanja za krajnje vijke:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{80}{3 \cdot 18}; \frac{500}{430}; 1\right) = 0,74$$

$$f_u = 430 \text{ N/mm}^2 \text{ (S275)}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

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

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 43 \cdot 2,0 \cdot 2,0}{1,25} = 254,56 \text{ kN}$$

Kako su spoju postoje 4 vijka, pa samim time i 4 rupe, ukupna otpornost na pritisak po omotaču rupe u spoju iznosi:

$$\overline{F_{b,Rd}} = n \cdot F_{b,Rd} = 4 \cdot 254,56 = 1018,24 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$15,33 \text{ kN} < 1018,24 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost spoja je

$$\frac{15,33}{1018,24} = 0,02 \approx 2\%$$

c) Otpornost vijaka na vlak

Otpornost jednog vlačnog vijka:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 50 \cdot 2,45}{1,25} = 88,2 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost vijaka na vlak iznosi:

$$\overline{F}_{t,Rd} = n \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 88,2 = 176,4 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$F_1 \leq F_{t,Rd}$$

$$89,72 \text{ kN} < 176,4 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen, iskoristivost spoja je

$$\frac{89,72}{176,4} = 0,51 \approx 51 \%$$

d) Interakcija posmika i vlaka

Proračun interakcije je proveden za jedan vijak:

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

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = 3,83 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{2} = 57,33 \text{ kN}$$

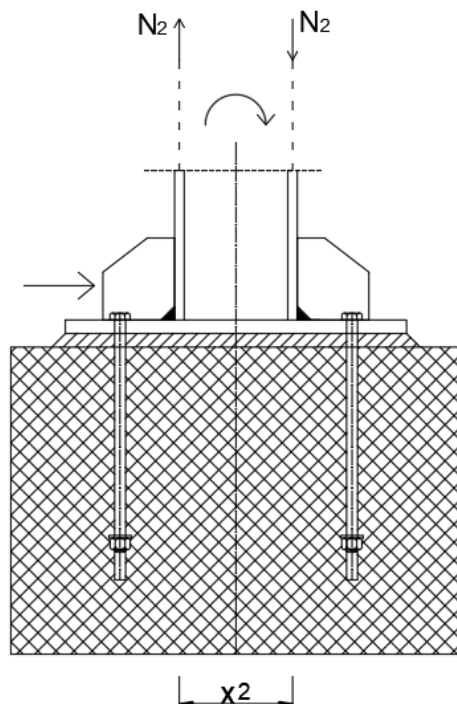
$$\frac{3,83}{58,8} + \frac{57,33}{1,4 \cdot 88,2} \leq 1$$

$$0,53 < 1 \text{ (53\%)}$$

Vijci zadovoljavaju nosivost.

e) Proračun zavarenog spoja:

Djelovanje na zavar:



Slika 58 - Spoj stupa na AB temelj - sile koje djeluju na zavar

Prilikom proračuna treba uzeti u obzir samo vlačno opterećene zavara. Prema tome treba izračunati komponentu N_2 .

$$x_2 = h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_f}{2} = 180 - \frac{14}{2} - \frac{14}{2} = 166 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{22,70}{0,166} = 136,75 \text{ kN}$$

Također, kako N_2 djeluje samo na pola zavara, uzima se u obzir samo pola sile $V_{z,Ed}$.

Sila koja djeluje na zavar:

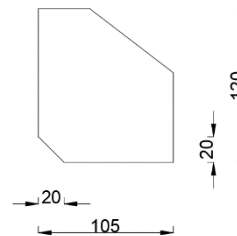
$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2} = \sqrt{\left(\frac{15,33}{2}\right)^2 + 136,75^2} = 136,96 \text{ kN}$$

Otpornost jednog centimetra zavara iznosi:

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

Debljina zavora a iznosi 6 cm, a korelacijski koeficijent β_w za kvalitetu čelika S275 ($f_u = 430 \text{ N/mm}^2$) je 0,85.

$$F_{w,Rd} = \frac{43}{\sqrt{3} \cdot 0,85} \cdot 0,6 = 14,02 \text{ kN}$$



Ukupna otpornost zavora :

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} \cdot \Sigma L = 14,02 \cdot 49,35 = 691,89 \text{ kN}$$

gdje je $\Sigma L = b + (b - t_w - 2r) + 2(105 - 20) = 493,5 \text{ mm}$

Uvjet nosivosti:

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

$$136,96 \text{ kN} < 691,89 \text{ kN}$$

Zavar je zadovoljio nosivost, iskoristivost zavora je:

$$\frac{136,96}{691,89} = 0,20 \approx 20\%$$

9. ZAKLJUČAK

U radu je izvršeno dimenzioniranje čelične konzolne nadstrešnice sa solarnim panelima. Provedene su analize djelovanja za stalno i promjenjivo opterećenje te su dobivene mjerodavne kombinacije za granično stanje uporabivosti i granično stanje nosivosti koje uzimaju u obzir stalno djelovanje i vjetar (ispuh). Uz pomoć programa Robot Structural Analysis proveden je statički proračun konstrukcije. Glavni cilj dimenzioniranja elemenata nadstrešnice bio je zadovoljavanje svih uvjeta nosivosti za GSN te i dozvoljenih pomaka/progiba za GSU, što je i ostvareno. Međutim, iskoristivosti elementa stupa i njegovog poprečnog presjeka HE-B 180 su jako male budući da su na stup spojene kose prečke za koje je odabran profil IPN360 pa je širina stupa morala biti minimalno 170 mm. Sekundarni nosač profila IPN 140 i kosa prečka imaju zadovoljavajuću iskoristivost. Riješeni su detalji spoja stupa na AB temelj i obostrano simetričnog spoja kosih prečki na stup korištenjem vijaka i zavara. Za spoj stupa na AB temelj s ukrutom odabrana su četiri vijaka M20 k.v. 5.6. zbog zadovoljavanja uvjeta nosivosti vijaka na vlak. Obostrano simetričan spoj kose prečke i stupa čini šest vijaka M16 k.v. 8.8 i vuta dimenzija 170x14-261 mm izveden tako da podnese odižuće djelovanje vjetra.

10. LITERATURA

- [1] Androjić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije 1, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.
- [2] Androjić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije 2, IA Projektiranje, Zagreb, 2009
- [3] Androjić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Metalne konstrukcije 3, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.
- [4] Brčić D., Šoštarčić M., Parkiranje i garaže, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [5] Krolo P., Materijali s predavanja, Osnove čeličnih konstrukcija, Građevinski fakultet u Rijeci, 2021.
- [6] AutoCAD 2022, Software for 2D and 3D CAD, Autodesk, student version, <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
- [7] Robot Structural Analysis Professional 2022, BIM structural analysis software for engineers, Autodesk, student version, dostupno na <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>

Norme:

- [1] HRN EN 1991-1-3:2012 Eurocod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [2] HRN EN 1991-1-4:2012 Eurocod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [3] nHRN EN 1991-1-3:2012/NA Eurocod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom – Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [4] nHRN_EN_1990_NA_2011 Eurocod 1: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012

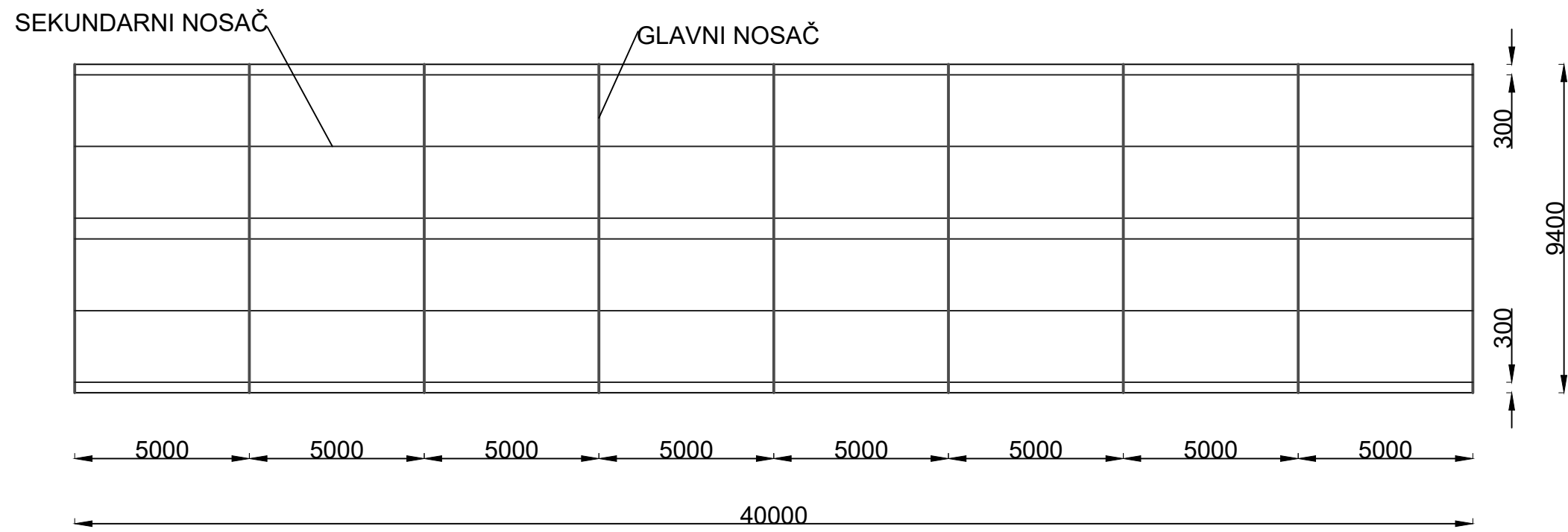
- [5] EN 1993-1-1:2005 Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija – Dio 1-1:
Opća pravila i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak

Slike:

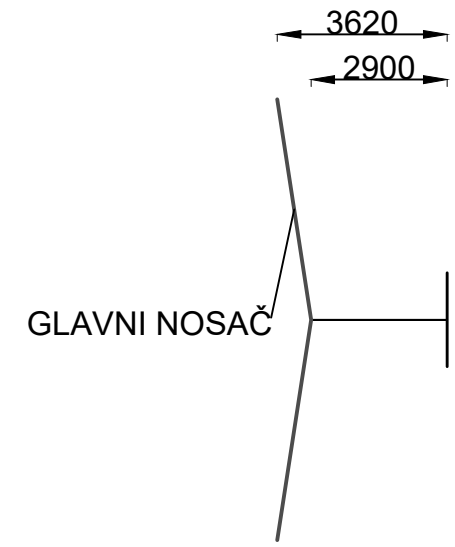
- [1] <https://www.carportstructures.com/>, 17.07.2022.
[2] <https://www.archiexpo.com/>, 13.07.2022.
[3] <https://www.auto-nadstresnice.hr/>, 13.07.2022.
[4] <https://hr.best-diy-site.com/>, 17.07.2022.
[5] <https://www.designingbuildings.co.uk/>, 18.07.2022.
[6] <https://www.mp-elektronika.hr/>, 16.07.2022.
[7] <https://pevex.hr>, 17.07.2022.
[8] <https://www.partenon-bp.hr/>, 16.07.2022.
[9] <https://www.mojkvart.hr/>, 16.07.2022.

11. NACRTI

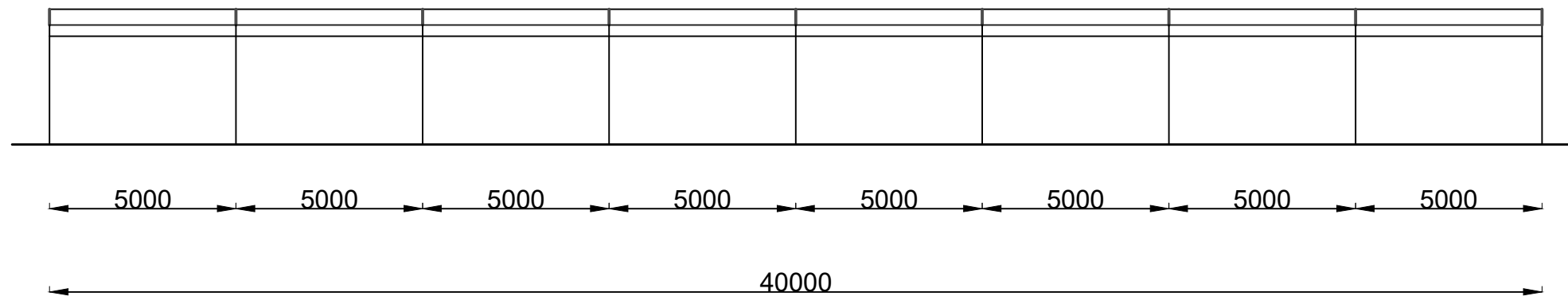
TLOCRTNA DISPOZICIJA M 1:150



POGLED NA ZABAT M 1:150



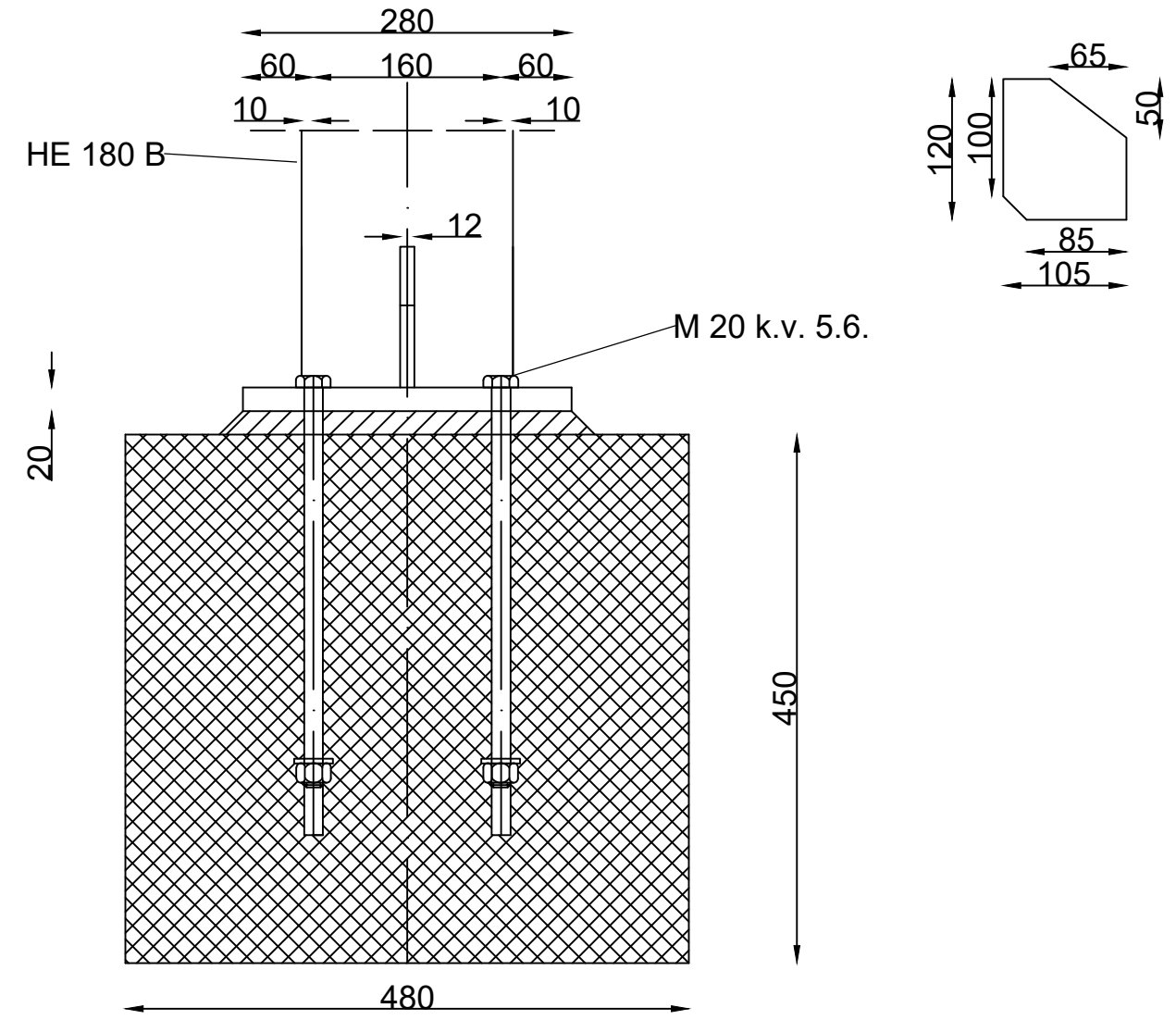
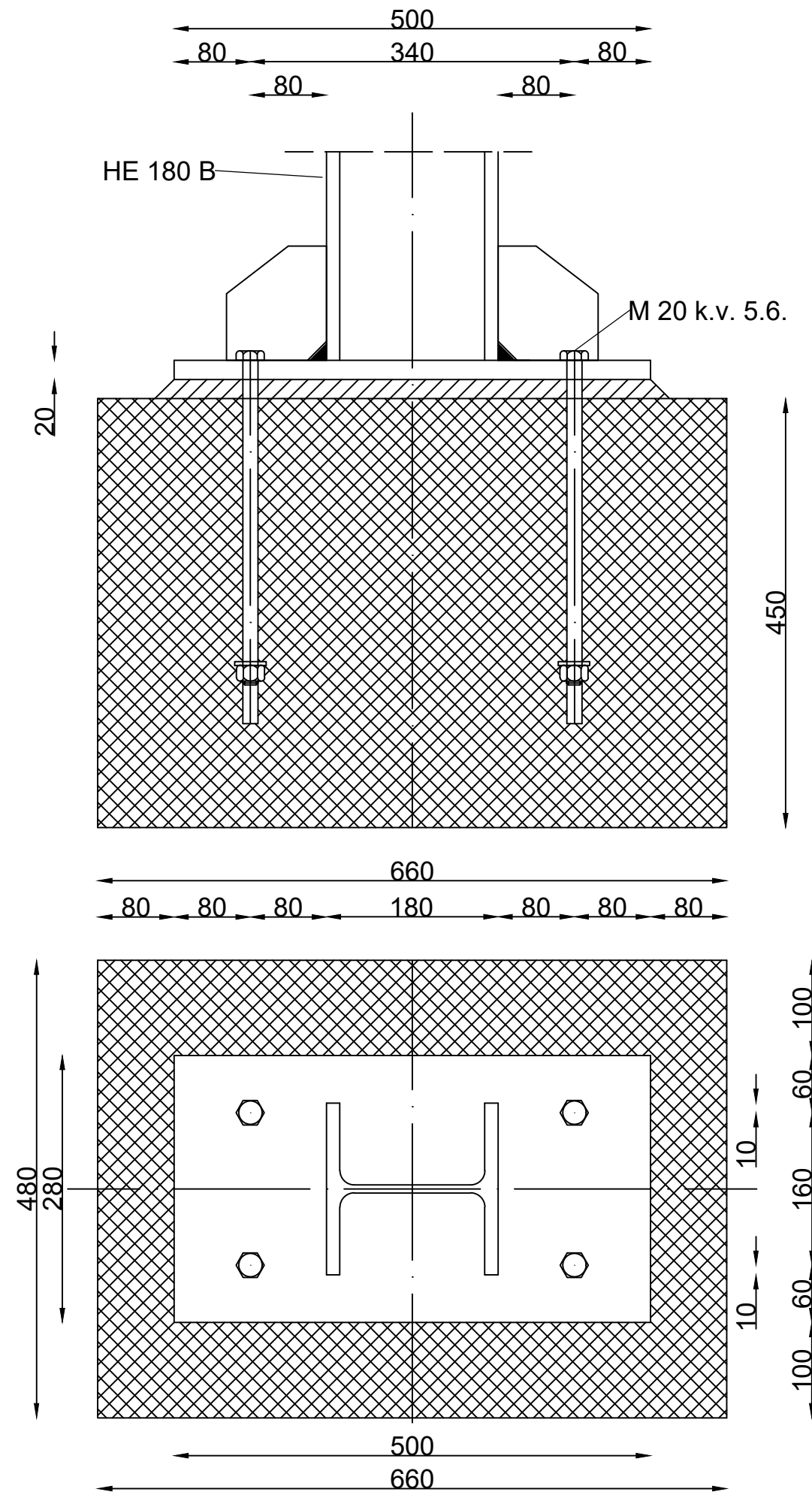
UZDUŽNI POGLED 1:150



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
ZAVRŠNI RAD: Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s punostjenim nosačima		SADRŽAJ NACRTA: Tlocrtna dispozicija, pogled na zabat i uzdužni pogled konstrukcije	
STUDENT: Anja Perko		KOLEGIJ: Osnove čeličnih konstrukcija	
MENTOR: doc.dr.sc. Paulina Krolo		DATUM: 9. 2022.	MJERILO: 1 : 150
		LIST: 1.	

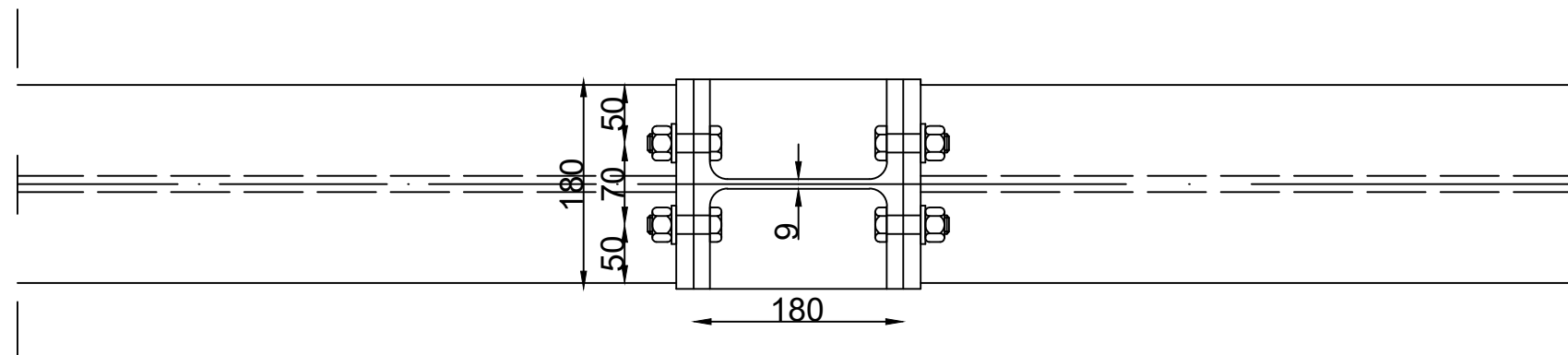
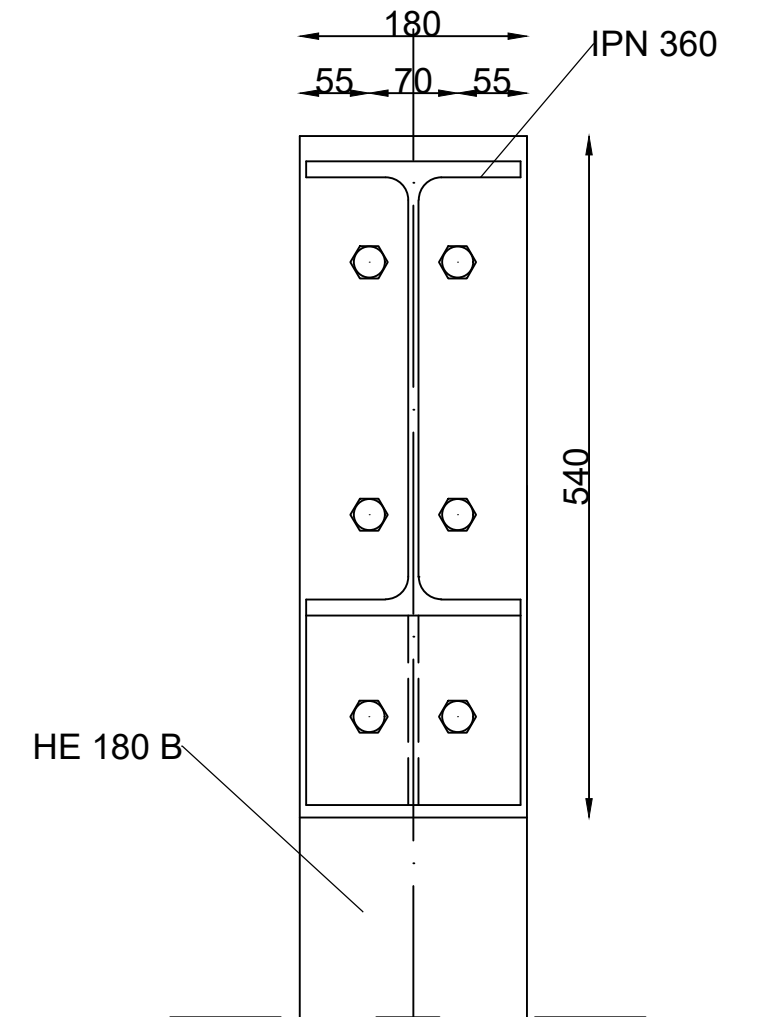
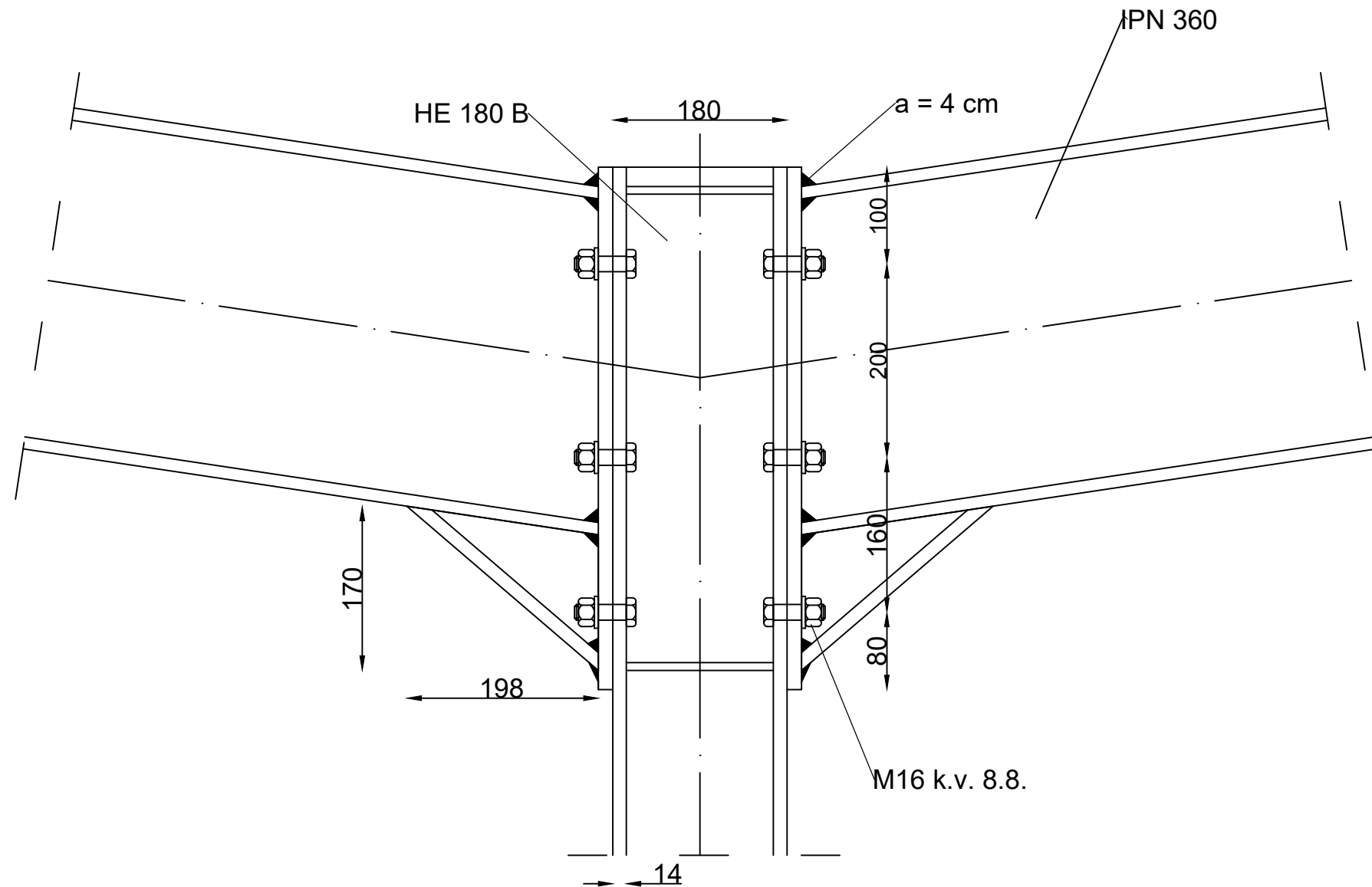
DETALJ SPOJA STUPA I AB TEMELJA

M 1:6



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
ZAVRŠNI RAD: Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s punostjenim nosačima		SADRŽAJ NACRTA: Detalj spoja stupa na AB temelj	
STUDENT: Anja Perko		KOLEGIJ: Osnove čeličnih konstrukcija	
MENTOR: doc.dr.sc. Paulina Krolo	DATUM: 9. 2022.	MJERILO: 1 : 6	LIST: 2.

DETALJ OBOSTRANO SIMETRIČNOG SPOJA STUPA I KOSE PREČKE M 1:6



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
ZAVRŠNI RAD: Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s punostjenim nosačima		SADRŽAJ NACRTA: Detalj obostrano simetričnog spoja kose prečke na stup	
STUDENT: Anja Perko		KOLEGIJ: Osnove čeličnih konstrukcija	
MENTOR: doc.dr.sc. Paulina Krolo	DATUM: 9. 2022.	MJERILO: 1 : 6	LIST: 3.