

# Nadstrešnica za vozila sa solarnim panelima

---

**Zbašnik, Meri**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:157:477904>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**



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**

**Meri Zbašnik**

**NADSTREŠNICA ZA VOZILA SA SOLARNIM PANELIMA**

**Završni rad**

**Rijeka, 2023.**

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
Stručni prijediplomski studij  
Čelične konstrukcije

Meri Zbašnik

0114035701

**NADSTREŠNICA ZA VOZILA SA SOLARNIM PANELIMA**

Završni rad

Rijeka, rujan, 2023.

## **IZJAVA**

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s 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.

Meri Zbašnik

Rijeka, 15. rujna 2023.

## ZAHVALA

*Prvenstveno bih se željela zahvaliti profesorici i mentorici doc.dr.sc. Paulini Krolo, dipl. ing. građ. koja me motivirala i pobudila u meni želju izrade završnog rada u ovome području građevinarstva. Hvala joj na pomoći prilikom izrade istog te na cjelokupnom prenesenom znanju.*

*Također, zahvaljujem se prijateljima, kolegama iz studentskih klupa što su vjerovali u mene, izazivali mi osmijeh na lice u teškim trenucima i bili mi podrška u svim mojim odlukama.*

*Najveće hvala mojim roditeljima na pruženoj mogućnosti nastavka školovanja te na ogromnoj podršci.*

*Posebno HVALA, na nebo, upućujem svome stricu kojem i posvećujem svoj dosadašnji uspjeh!*

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 2. NADSTREŠNICE .....   | 2  |
| 2.1. Namjena nadstrešnica .....                                       | 2  |
| 2.2. Tipovi nadstrešnica obzirom na konstrukciju.....                 | 3  |
| 2.3. Krovna konstrukcija nadstrešnica.....                            | 6  |
| 3. TEHNIČKI OPIS.....   | 9  |
| 4. ANALIZA DJELOVANJA .....   | 11 |
| 4.1. Stalno djelovanje .....  | 11 |
| 4.2. Promjenjivo djelovanje.....                                      | 12 |
| 4.2.1. Djelovanje snijegom.....                                       | 12 |
| 4.2.2. Djelovanje vjetrom .....                                       | 15 |
| 5. KOMBINACIJE DJELOVANJA.....  | 26 |
| 6. STATIČKI PRORAČUN .....  | 29 |
| 6.1. Granično stanje nosivosti (GSN) – glavni nosač + stup.....       | 31 |
| 6.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU) – glavni nosač + stup ..... | 33 |
| 6.3. Granično stanje nosivosti (GSN) – sekundarni nosač .....         | 34 |
| 6.4. Granično stanje uporabljivosti (GSU) – sekundarni nosač .....    | 35 |
| 7. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....               | 36 |
| 7.1. Dimenzioniranje glavnog nosača.....                              | 36 |
| 7.1.1. Granično stanje nosivosti (GSN).....                           | 36 |
| 7.1.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU) .....                     | 46 |
| 7.2. Dimenzioniranje sekundarnog nosača.....                          | 48 |
| 7.2.1. Granično stanje nosivosti (GSN).....                           | 48 |
| 7.2.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU) .....                     | 57 |
| 7.3. Dimenzioniranje stupa.....                                       | 59 |
| 7.3.1. Granično stanje nosivosti (GSN).....                           | 59 |
| 7.3.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU) .....                     | 63 |
| 8. PRORAČUN PRIKLJUČAKA NADSTREŠNICE .....                            | 64 |
| 8.1. Proračun spoja kvadratnog stupa na betonski temelj .....         | 64 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 8.1.1. | Otpornost vijka na posmik (odrez) .....                         | 65 |
| 8.1.2. | Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala ..... | 66 |
| 8.1.3. | Otpornost vijka na vlak .....                                   | 67 |
| 8.1.4. | Interakcija posmika i vlaka.....                                | 68 |
| 8.1.5. | Proračun zavarenog spoja.....                                   | 68 |
| 8.2.   | Proračun spoja glavnog nosača na stup .....                     | 71 |
| 8.2.1. | Proračun zavarenog spoja.....                                   | 71 |
| 9.     | ZAKLJUČAK.....  | 74 |
| 10.    | LITERATURA .....  | 75 |
| 11.    | NACRTI .....  | 77 |

## POPIS SLIKA

Slika 1. Preliminarni zadatak za završni rad [20]

Slika 2. Nadstrešnica na četiri stupa [12]

Slika 3. Konzolna nadstrešnica [12]

Slika 4. Oslonjena nadstrešnica [13]

Slika 5. „V“ oblik nadstrešnice [12]

Slika 6. Primjer dvostrešne nadstrešnice [14]

Slika 7. Primjer jednostrešne nadstrešnice [15]

Slika 8. Primjer šatoraste nadstrešnice [16]

Slika 9. Primjer peronske nadstrešnice [17]

Slika 10. Prikaz (3D) nadstrešnice u programu Robot Structural Analysis Professional [3]

Slika 11. Tlocrt nadstrešnice u programu Robot Structural Analysis Professional [3]

Slika 12. Poprečni presjek nadstrešnice u programu Robot Structural Analysis [3]

Slika 13. Katalog odabranih solarnih panela [19]

Slika 14. Karta snježnih područja [4]

Slika 15. Faktor oblika kod jednostešnog krova [4]

Slika 16. Osnovna brzina vjetra  $v_{b,0}$  [9]

Slika 17. Grafički prikaz faktora izloženosti  $c_{e(z)}$  za  $c_{0(z)} = 1,0$  i  $k_1 = 1,0$  [2]

Slika 18. Opterećenja po zonama [2]

Slika 19. Dijagram opterećenja po zonama za slučaj a) [2]

Slika 20. Dijagram opterećenje po zonama za slučaj b) [2]

Slika 21. Dijagram opterećenje po zonama za slučaj c) [2]

Slika 22. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za GSN [8]

Slika 23. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za GSN [8]



Slika 24. Kombinacije djelovanja definirane u programu Robot Structural Analysis [3]

Slika 25. Model konstrukcije nadstrešnice (3D) [3]

Slika 26. Prikaz čvorova čelične konstrukcije nadstrešnice [3]

Slika 27. Prikaz elemenata čelične konstrukcije nadstrešnice [3]

Slika 28. Tabelarni prikaz elemenata, čvorova i poprečnih presjeka [3]

Slika 29. Prikaz vrijednosti dijagrama uzdužnih sila (kN) [3]

Slika 30. Prikaz vrijednosti dijagrama poprečnih sila (kN) [3]

Slika 31. Prikaz vrijednosti dijagrama momenta savijanja  $M_y$  (kNm) [3]

Slika 32. Vrijednosti pomaka (mm) [3]

Slika 33. Prikaz vrijednosti dijagrama uzdužnih sila (kN) [3]

Slika 34. Prikaz vrijednosti dijagrama poprečnih sila (kN) [3]

Slika 35. Prikaz vrijednosti dijagrama momenta savijanja  $M_y$  (kNm) [3]

Slika 36. Vrijednosti pomaka (mm) [3]

Slika 37. Prikaz kritičnog glavnog nosača na konstrukciji nadstrešnice [3]

Slika 38. Dijagram poprečnih sila na kritičnom glavnom nosaču nadstrešnice [3]

Slika 39. Pomak od vlastite težine [3]

Slika 40. pomak od kritične kombinacije [3]

Slika 41. Dijagram momenta savijanja na kritičnom glavnom nosaču nadstrešnice [3]

Slika 42. Položaj kritičnih sekundarnih nosača na konstrukciji nadstrešnice [3]

Slika 43. Dijagram poprečnih sila na kritičnom sekundarnom nosaču nadstrešnice [3]

Slika 44. Dijagram momenta savijanja na kritičnom sekundarnom nosaču nadstrešnice [3]

Slika 45. Pomak od vlastite težine [3]

Slika 46. Pomak od kritične kombinacije [3]

Slika 47. Prikaz kritičnog stupa na konstrukciji nadstrešnice [3]

Slika 48. Dijagram momenta savijanja na kritičnom stupu konstrukcije nadstrešnice [3]

Slika 49. Dijagram poprečnih sila na kritičnom stupu konstrukcije nadstrešnice [3]

Slika 50. Dijagram uzdužnih sila na kritičnom stupu konstrukcije nadstrešnice [3]

Slika 51. Pomak stupa [3]

Slika 52. Djelovanje na vijke [2]

Slika 53. Djelovanje na zavar [2]

Slika 54. Djelovanje na zavar [2]

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [4]

Tablica 2. Vrijednost koeficijenta oblika  $\mu_i$  o zavisnosti od nagiba krovne plohe [8]

Tablica 3. Kategorije terena i parametri terena [2]

Tablica 4. Vrijednosti koeficijenata  $c_e$  i  $c_f$  za jednostrešne nadstrešnice [2]

Tablica 5. Faktori kombinacije  $\Psi_0$  za snijeg i vjetar

## SAŽETAK

Cilj završnog rada jest osmisliti čeličnu konstrukciju nadstrešnice za vozila s pokrovom od solarnih panela. Dimenzije konstrukcije iznose: 5,0 m širine, 3,66 m ukupne visine te 30,0 m duljine. Tema završnog rada jest proračun čelične nadstrešnice za vozila koja je izložena djelovanju vjetra i snijega. Nadstrešnica je osmišljena za potrebe natkrivanja automobila u cilju zaštite od vremenskih nepogoda te osiguranja dovoljne količine parkirnih mjesta za studente na Kampusu, u Rijeci. Pokrov nadstrešnice čine solarni paneli kojima je danas u svijetu primjena sve šira. Pomoću programa Robot Structural Analysis Professional System, dobivene su unutarnje sile u V stupovima, u glavnim, kao i u sekundarnim nosačima. Provedeno je dimenzioniranje elemenata konstrukcije za granično stanje nosivosti i uporabljivosti. Riješeni su, također, detalji spoja stupa na betonski temelj i spoja stupa i glavnog nosača te je proveden proračun vijaka i zavora za svaki od njih. Glavni statički sustav čine parovi V stupova te glavni nosač, na razmaku od 6,0 m.

**Ključne riječi:** čelična konstrukcija, nadstrešnica, djelovanje vjetra, djelovanje snijega, statički proračun, solarni paneli

## **ABSTRACT**

The goal of the final work is to design a steel construction for vehicles with a cover made of solar panels. The dimensions of the construction are: 5,0 m wide, 3,66 m total height and 30,0 m long. The topic of this final work is to estimate the steel canopy for vehicles which is exposed to wind and snow action. The canopy is designed for the purpose of covering cars in order to protect them from the weather and ensure a sufficient amount of parking spaces for students on the Kampus, in Rijeka. The cover of the canopy is made up of solar panels, the application of which is becoming increasingly widespread in the world today. Using the Robot Structural Analysis Professional System program, the internal forces in the V columns, in the main as well as in the secondary supports were obtained. The dimensioning of the structural elements was carried out for the limit state of load capacity and the limit state of serviceability. The details of the connection of the column to the foundation and the connection of the column to the main support were also solved, and the calculation of screws and welds was carried out for each of them. The main static system consists of pairs of V columns and the main support, at a distance of 6,0 m.

**Key words:** steel construction, canopy, wind action, snow action. static calculation, solar panels

## 1. UVOD

U završnome radu napravljen je proračun čelične konstrukcije nadstrešnice za vozila sa solarnim panelima za buduće parkiralište na području Sveučilišta u Rijeci, na Trsatu. Solarni paneli čine pokrov nadstrešnice zbog napajanja istih solarnom energijom. Razlog sve šire primjene solarnih panela jest taj što se pomoću njih mogu električnom energijom napajati i susjedni objekti, ali je i ekološki prihvatljivija opcija. Rijeka ima, svima dobro znani problem, manjak parkirnih mjesta pa imamo često priliku vidjeti vozila parkirana na kolnicima čime se stvaraju gužve u prometu.

Na području Sveučilišta ima puno studenata koji dolaze automobilima pa nedostaje parkirnih mjesta. Stoga bi se, izvedbom ove konstrukcije, pokrenulo rješavanje problematike koja je prisutna u gradu Rijeci.

Danas razlikujemo veliki broj različitih tipova i oblika nadstrešnica. Upotrebom solarnih panela sunčeva se energija upotrebljava s pogleda ekonomičnosti; odnosno što manjeg zagađenja okoliša i najboljim izborom obnovljivog izvora energije. Također, troškovi rada su izuzetno niski, a mehanika je jednostavna, a omogućeno je i dovođenje energije uz maksimalnu uštedu. Naravno, solarne je panele poželjno potaviti na područje, i pod nagibom najoptimalnijem obasjanošću suncem kojim raspolažemo. Iako, poznavajući sve prednosti korištenja solarnih panela, oni se ne koriste i dalje u dovoljnoj mjeri.

Rad se može podijeliti u dva dijela; teorijski i numerički. U nastavku, koji svrstavamo u teorijski dio, razrađene su nadstrešnice, njihova namjena, kao i mogućnosti izvođenja krovne konstrukcije istih. Nadalje, detaljno je razrađen tehnički opis konstrukcije. U numerički dio svrstavamo statički proračun, dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije izložene djelovanju vjetra i snijega te proračun i način izvođenja dvije vrste priključaka; priključak glavnoga nosača na stup, odnosno stupa na betonski temelj.

Cilj završnoga rada jest bio osmisliti čeličnu konstrukciju nadstrešnice za natkrivanje 10 parkirnih mjesta prema primjeru sa slike (Slika 1.) te provesti statički proračun konstrukcije, kao i dimenzioniranje elemenata iste te vidjeti zadovoljavaju li elementi granično stanje

nosivosti, odnosno uporabljivosti. Također, cilj je bio osmisliti detalje te načine povezivanja dvaju elemenata; spoj stupova na temelj kao i spoj stupa te glavne nosive konstrukcije.



Slika 1. Preliminarni zadatak za završni rad [20]

## **2. NADSTREŠNICE**

Nadstrešnice se definiraju kao zaštita za površine ili, pak, vozila (automobili, traktori, razni radni strojevi). Nadstrešnice kao pomoćne građevine koje se grade na građevnoj čestici postojeće zgrade tlocrtne površine do 20 kvadratnih metara, nadstrešnice kao građevine namijenjene držanju stoke i drugih životinja te nadstrešnice za sklanjanje ljudi u javnom prometu mogu se graditi bez građevinske dozvole i glavnog projekta sudeći prema Pravilniku o jednostavnim i drugim građevinama i radovima. [1]

### **2.1. Namjena nadstrešnica**

Nadstrešnice se danas mogu smatrati sastavnim dijelom svake obiteljske kuće; projektirane da zaštite automobile ili da zaštite terasu ili balkon. No, često možemo vidjeti nadstrešnice i na parkiralištima raznih trgovačkih centara. Dok su, kao sastavni dio neke obiteljske kuće,

najčešće zastupljene drvene konstrukcije nadstrešnica, na parkiralištima trgovačkih centara najčešće susrećemo metalne nadstrešnice. Nadstrešnice su osmišljene, odnosno projektirane da zaštite automobile te strojeve i alate u proizvodnim pogonima od vremenskih uvjeta; kiše, tuče, snijega. Iako većini ljudi prva pomisao padne na garažne prostore za zaštitu vozila od vremenskih nepravilnosti, nadstrešnice nude nešto jeftinije rješenje. Kako same konstrukcije nadstrešnica štite od vremenskih nepravilnosti, vrlo je važno i same nadstrešnice zaštititi od istih. Danas se, adekvatnim se postupcima, drvene ili metalne konstrukcije štite od korozije.

## 2.2. Tipovi nadstrešnica obzirom na konstrukciju

Konzolne, portalne, šatoraste, samo su neke od različitih mogućih tipova izvedbe nadstrešnica. Najčešće smo u prilici vidjeti nadstrešnice na četiri stupa koji osiguravaju maksimalnu stabilnost iste (Slika 1.). Zbog jednostavnosti izvedbe i projektiranja, većina najčešće poseže za tom opcijom tipa nadstrešnice. Parkiranje je osigurno za jedn ili više vozila. Nosači-stupovi mogu biti, naravno, različitih dimenzija pa se stoga proračun gabarita visine, duljine i širine nadstrešnice prilagođava prostoru kojim se raspolaže te karakteristikama terena na kojem se planira izgradnja.



Slika 2. Nadstrešnica na četiri stupa [11]



S druge strane, konzolne nadstrežnice karakterizira čak nešto lakše parkiranje zbog stupova koji se nalaze samo na stražnjoj strani nadstrešnice (Slika 2.). Shodno tome, postoje različite varijante parkiranja jednog ili više vozila. Osnova je nadstrešnice čelična konstrukcija od pocinčanih profila, a krov može biti od lijepljenog kaljenog stakla, pokriven krovnim sendvič-panelom od profiliranog lima te polikarbonatnih ploča.



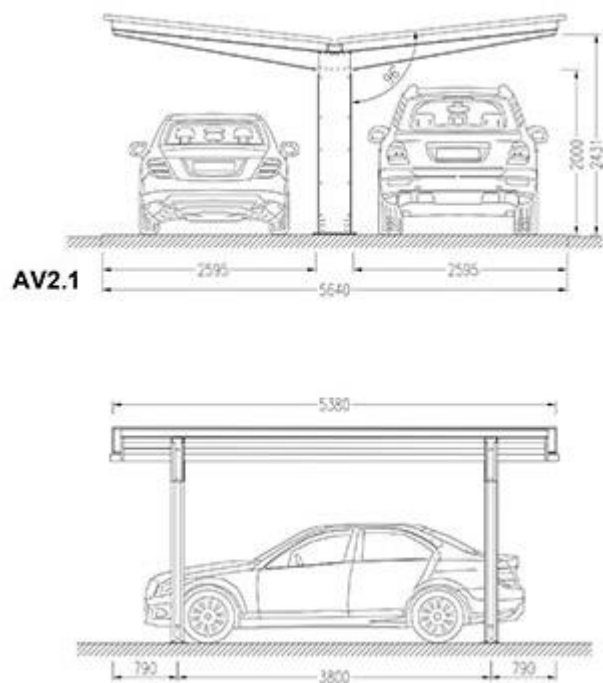
Slika 3. Konzolna nadstrešnica [12]

Oslonjene nadstrešnice, kao što im samo ime kaže, oslonjene su na drugi objekt (Slika 3.). Oslonjene su najčešće na kuću ili garažni prostor. Činjenicom da su s jedne strane (one oslonjene) zaštićene susjednim objektom, karakterizira ih dobra zaštita od atmosferskih čimbenika.



Slika 4. Oslonjena nadstrešnica [13]

Zatim razlikujemo takozvani "V oblik" nadstrešnica. Nadstrešnica je osmišljena da se automobili nalaze s obje strane (Slika 4.). Prednosti ovog tipa nadstrešnica su velika ušteda prostora, kao i kvalitetna izvedba.



Slika 5. „V“ oblik nadstrešnica [14]

### 2.3. Krovna konstrukcija nadstrešnica

Glavnu ulogu zaštite objekata ispod nadstrešnice, ali i zaštitu same nadstrešnice od vanjskih utjecaja ima krovna konstrukcija. Krovne konstrukcije mogu biti različitih oblika, shodno tome, dijelimo ih na: dvostrešne (Slika 4.), jednostrešne (Slika 5.), šatoraste (Slika 6.) ili, pak, peronske (Slika 7.). Obraćajući pažnju na nagib krovne konstrukcije, razlikujemo: strme nagibe ( $\alpha < 25^\circ$ ), blage nagibe ( $5^\circ < \alpha < 25^\circ$ ) te ravne krovove ( $\alpha < 5^\circ$ ).



Slika 6. Primjer dvostrešne nadstrešnice [15]



Slika 7. Primjer jednostrešne nadstrešnice [16]





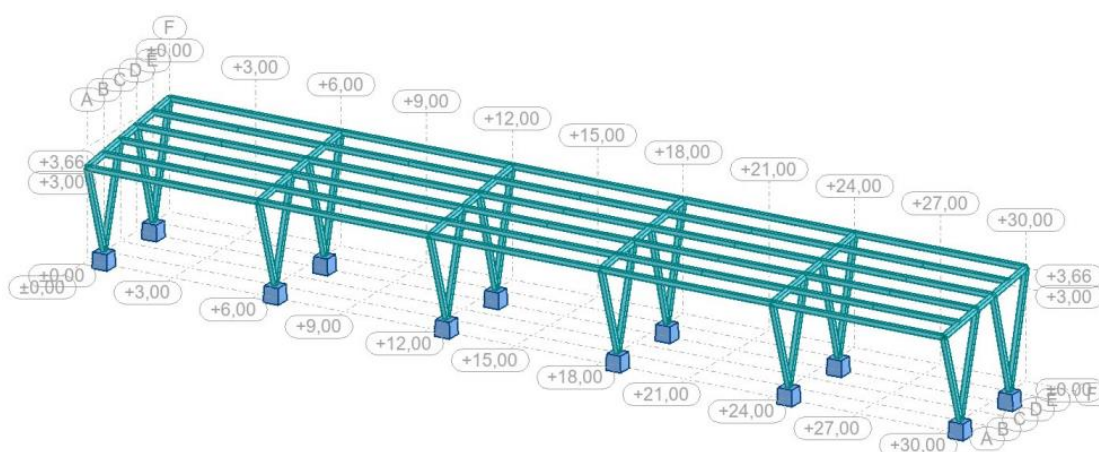
Slika 8. Primjer šatoraste nadstrešnice [17]



Slika 9. Primjer peronske nadstrešnice [18]

### 3. TEHNIČKI OPIS

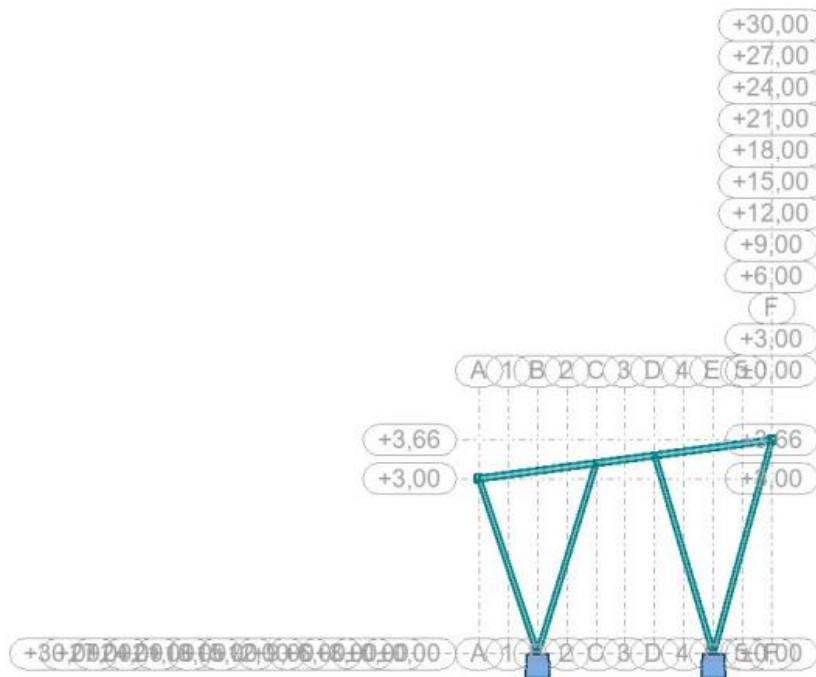
Konstrukcija čelične nadstrešnice za vozila sa solarnim panelima tlocrtnih dimenzija 5,0 x 30 m sastoji se od 6 glavnih nosača na osnom razmaku od 6,0 m. Krov je izveden kao višerasponski jednostrešni krov s nagibom krovne plohe od 7,5°. Konstrukcija čelične višeraspanske nadstrešnice se nalazi na nadmorskoj visini od 185 m na području grada Rijeke. Glavna namjena ove čelične konstrukcije jest javno parkiralište za automobile na Kampusu, u Rijeci. Konstrukcija višeraspanske nadstrešnice natkriva 10 parkirnih mjesta dimenzija 5,0 m x 3,0 m. Pokrov nadstrešnice čine solarni paneli. Na konstrukciju djeluju stalno opterećenje (solarni paneli, elementi konstrukcije), opterećenje snijegom i opterećenje vjetrom. Opterećenje snijegom je određeno uz primjenu norme HRN EN 1991-1-3: 2008 [1] i nacionalnog dodatka nHRN EN 1991-1-3: 2012/NA [5], dok je opterećenje vjetrom određeno primjenom norme HRN EN 1991-1-4: 2005 [2] i nacionalnog dodatka nHRN EN 1991-1-4: 2012/NA [6]. Statički sustav sekundarnog nosača jest prosta greda oslonjena na glavnu nosivu konstrukciju na razmacima od 1,0 m. Odabrani su kvadratni cijevni profili dimenzija 80 x 80 x 8 mm izrađeni od čelika klase S275. Statički sustav glavne nosive konstrukcije čelične nadstrešnice sastoji se od dvaju V stupova za koji je odabrana valjana kvadratna cijev 80 x 80 x 4 mm i glavnoga nosača za koji je odabrana, također, valjana kvadratna cijev dimenzija 80 x 80 x 4 mm.



Slika 10. Prikaz (3D) nadstrešnice u programu Robot Structural Analysis Professional [3]



Slika 11. Tlocrt nadstrešnice u programu Robot Structural Analysis Professional [3]



Slika 12. Poprečni presjek nadstrešnice u programu Robot Structural Analysis Professional

[3]

## 4. ANALIZA DJELOVANJA

Opterećenja se prema promjeni intenziteta u vremenu dijele na stalna, promjenjiva i izvanredna. Njihova je analiza provedena prema europskoj normi EN Eurocode 1 i nacionalnim dodacima HRN EN. Norma koja se koristi pri analizi djelovanja snijega na konstrukciju je [8] te nacionalni dodatak [10], a pri analizi djelovanja vjetra na konstrukciju [9] te nacionalni dodatak [11].

### 4.1. Stalno djelovanje

- vlastita težina konstrukcije uračunata je u programu Robot Structural Analysis pomoću naredbe: *selfweight*
- težina solarnih panela (Solvis d.o.o.) =  $0,189 \text{ kN/m}^2$  [18]  
 $g_k = 0,189 \text{ kN/m}^2$

Vlastita težina solarnih panela firme Solvis d.o.o. iznosi  $0,185 \text{ kN/m}^2$ . Dimenzije jednog komada solarnog panela su  $1600 \times 1000 \times 35 \text{ mm}$ .

| Vrijednosti parametara u točki NOCT |     |            |            |            |
|-------------------------------------|-----|------------|------------|------------|
| MODEL                               |     | SV60-320 E | SV60-325 E | SV60-330 E |
| Vršna snaga $P_{MPP}$               | [W] | 233,8      | 236,7      | 240,1      |
| Dozvoljeno odstupanje               | [W] |            | -0/+4,9    |            |
| Struja kratkog spoja $I_{SC}$       | [A] | 8,15       | 8,22       | 8,27       |
| Napon praznog hoda $U_{OC}$         | [V] | 36,8       | 36,9       | 37,2       |
| Nazivna struja $I_{MPP}$            | [A] | 7,64       | 7,74       | 7,80       |
| Nazivni napon $U_{MPP}$             | [V] | 30,6       | 30,6       | 30,8       |

NOCT: 800 W/m<sup>2</sup> ozračenje, 20 °C ambijentalna temperatura, 1 m/s brzina vjetra

| MEHANIČKI PODACI      |   |
|-----------------------|---|
| Dimenzije (V x Š x D) | [mm] 1660 x 1000 x 35   |
| Masa                  | [kg] 18,9   |
| Broj i vrsta ćelija   | 60 ćelije, monokristalični Si (PERC), 157 x 157 mm +/- 2 mm                 |
| Enkapsulacija ćelija  | Etilen-vinil acetat(EVA)  |
| Staklo                | 3,2 mm kaljeno sunčano staklo   |
| Pozadina              | Višeslojna poliesterska folija  |
| Okvir                 | Okvir od anodiziranog aluminija s dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu |
| Priključna kutija     | IP67 s 3 Bypass diode   |
| Priključni kablovi    | Kabel 4mm <sup>2</sup> , dužine 1200 mm                                     |

Slika 13. Katalog odabranih solarnih panela [19]



## 4.2. Promjenjivo djelovanje

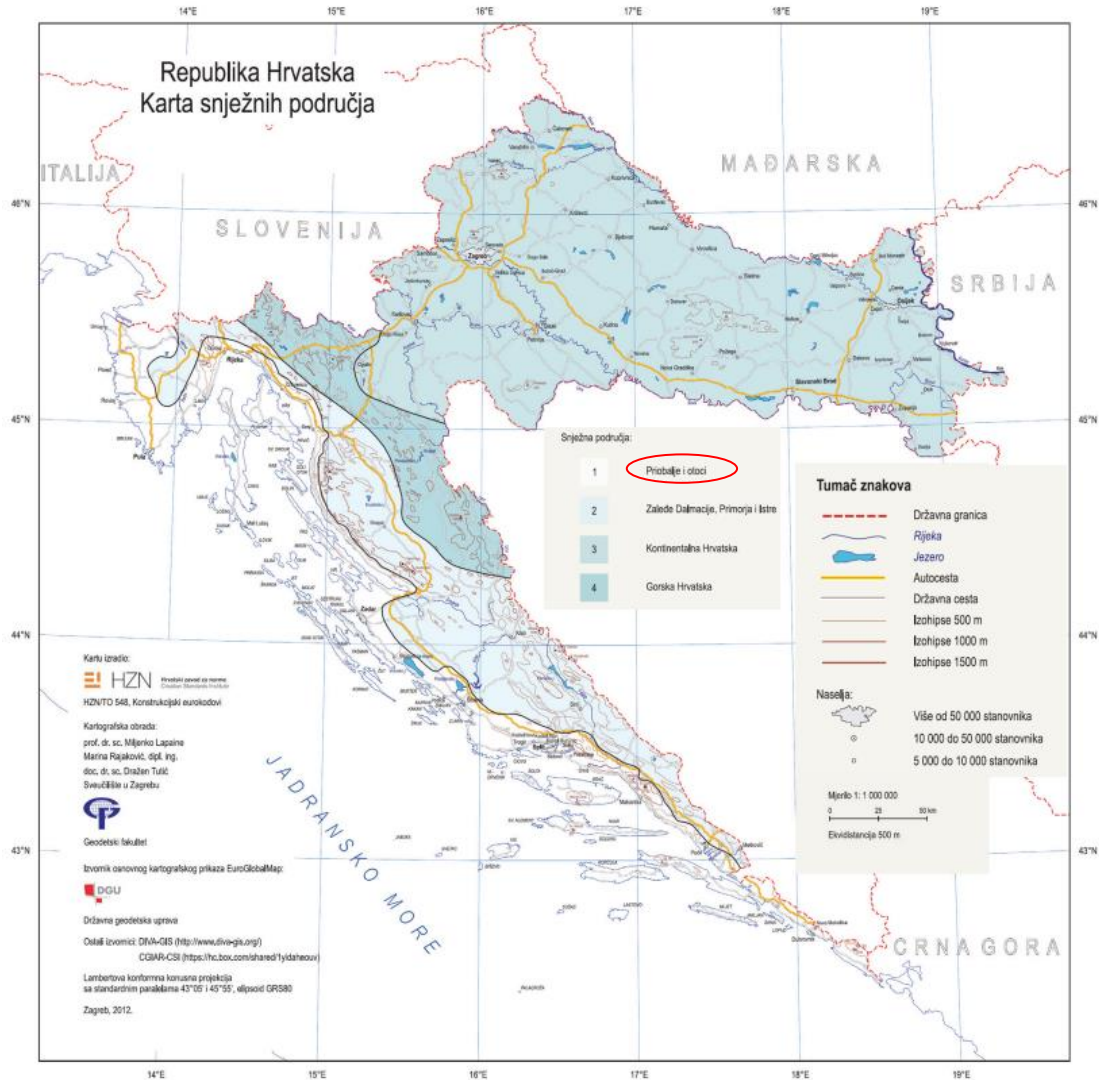
### 4.2.1. Djelovanje snijegom

Prilikom proračuna djelovanja snijega na krov koristi se izraz:  $s = s_k * \mu_i * c_e * c_t$

- karakteristična vrijednost snijega na tlu  $s_k$
- koeficijent oblika opterećenja snijegom:  $\mu_i$
- koeficijent izloženosti:  $c_e$
- toplinski koeficijent:  $c_t$

Nadstrešnica se nalazi na području Republike Hrvatske, odnosno grada Rijeke, nalazi u 1. području – priobalje i otoci (Slika 9), nadmorske visine do 100 m, shodno tome, karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu iznosi:

- karakteristična vrijednost snijega na tlu:  $s_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$  (Tablica 1)



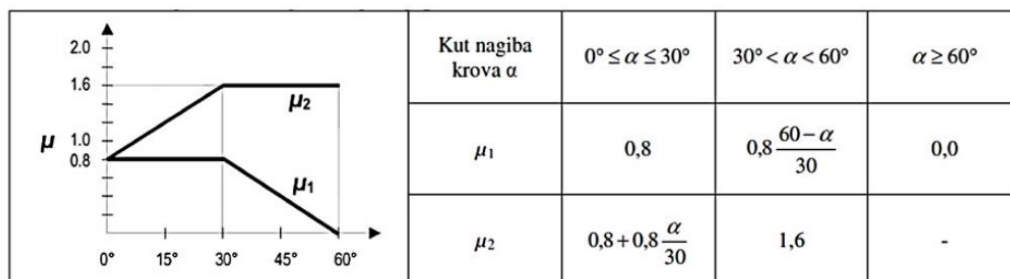
Slika 14. Karta snježnih područja [4]

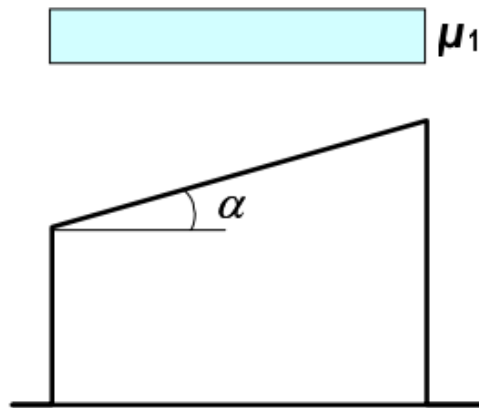
Tablica 1. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [4]

| Nadmorska visina do [m] | 1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ] | 2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ] | 3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ] | 4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|--|---|---|--|
| 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   |
| 1 000                   | 2,00   | 4,00  | 3,50  | 5,00   |
| 1 100                   | 3,00   | 5,00  | 4,00  | 5,50   |
| 1 200                   | 4,00   | 6,00  | 4,50  | 6,00   |
| 1 300                   | 5,00   | 7,00  |   | 7,00   |
| 1 400                   | 6,00   | 8,00  |   | 8,00   |
| 1 500                   |  | 9,00  |   | 9,00   |
| 1 600                   |  | 10,00   |   | 10,00  |
| 1 700                   |  | 11,00   |   | 11,00  |
| 1 800                   |  | 12,00   |   |  |

Prema HRN EN 1991-1-3:2012 i uvjetu  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$  (Slika 11), za nagib krova nadstrešnice od  $7,5^\circ$ , koeficijent oblika opterećenja snijegom:  $\mu_i = 0,8$  (Tablica 2).

Tablica 2. Vrijednost koeficijenta oblika  $\mu_i$  o zavisnosti od nagiba krovne plohe [8]





Slika 15. Faktor oblika kod jednostrešnog krova [4]

- koeficijent izloženosti:  $c_e = 1,0$  (uzima se preporučena vrijednost  $c_e = 1,0$  za danu lokaciju)
- toplinski koeficijent:  $c_t = 1,0$  (uzima se preporučena vrijednost  $c_t = 1,0$  za danu lokaciju)

Uvrštavanjem danih vrijednosti u izraz:

- opterećenje snijega na krovu:  $s = \mu_i * c_e * c_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,50 = 0,40 \text{ kN/m}^2$

#### 4.2.2. Djelovanje vjetrom

Kod proračuna djelovanja vjetra na konstrukciju u obzir se uzimaju djelovanja na vanjske i unutarnje površine pomoću pritisaka koji djeluju na te površine. Pritisak uslijed brzine vjetra može se računati na dva načina. Prikazana su oba načina, pri čemu drugi (kraći način) služi ujedno kao i provjera.

## 1. NAČIN

Osnovna brzina vjetra određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

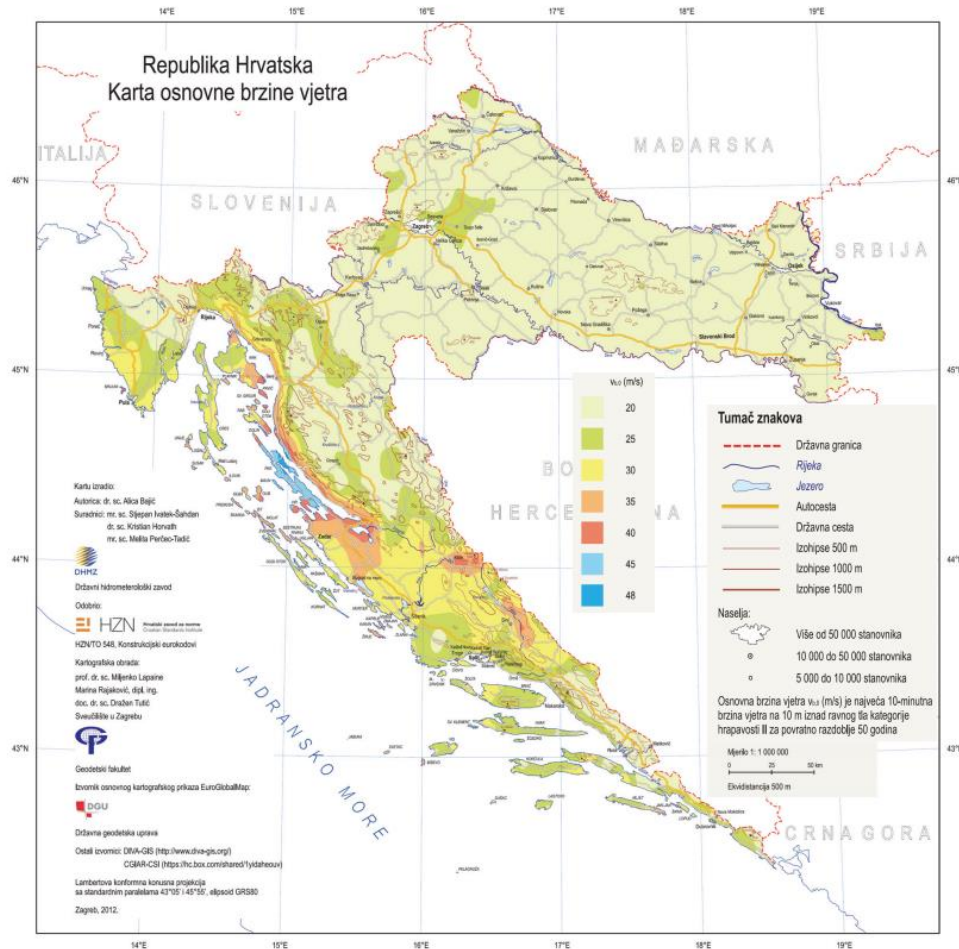
$c_{dir}$  – faktor smjera (uzima se preporučena vrijednost  $c_{dir} = 1,0$  za odabranu lokaciju)

$c_{season}$  – faktor godišnjeg doba (uzima se preporučena vrijednost  $c_{season} = 1,0$  za odabranu lokaciju)

$v_{b,0}$  – temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra (određuje se prema karti osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku)

Za nadstrešnicu na području grada Rijeke očitava se vrijednost osnovne brzine vjetra:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s (Slika 14).}$$



Slika 16. Osnovna brzina vjetra  $v_{b,0}$  [9]

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

Visina građevine do vrha:  $z = 3,66 \text{ m}$

### Kategorija terena objekta

Nadstrešnica je smještena u Rijeci, na Trsatu, stoga pripada kategoriji terena II za područja s niskom vegetacijom i izoliranim preprekama s razmakom najmanje 20 visina prepreke (Tablica 2).

U skladu s time očitavaju se vrijednosti  $z_0 = 0,05 \text{ m}$  i  $z_{min} = 2 \text{ m}$ .

Dodatak za proračun: hrapavost za drugu kategoriju  $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$  te  $z_{max} = 200 \text{ m}$

Tablica 3. Kategorije terena i parametri terena [2]

| Kategorija terena |  | $z_0$<br>[m] | $z_{min}$<br>[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.

Faktor terena  $k_r$  određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

$z_0 = 0,003$  m (duljina hrapavosti)

$z_{0,II} = 0,05$  m (hrapavost za II kategoriju)

Faktor hrapavosti  $c_{r(z)}$  određuje se prema izrazu:

$$c_{r(z)} = k_r * \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,19 * \ln \left( \frac{3,66}{0,05} \right) = 0,82$$

gdje je:

$k_r = 0,156$  (faktor terena)

$z = 3,66$  (visina vrha krova nadstrešnice)

$z_0 = 0,003$  (duljina hrapavosti)

Srednja brzina vjetra  $v_{m(z)}$  određuje se prema izrazu:

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} * c_{0(z)} * v_b$$

$$v_{m(z)} = 0,82 * 1,0 * 25 = 20,5 \text{ m/s}$$

gdje je:

$$c_{r(z)} = 1,2 \text{ (faktor hrapavosti)}$$

$c_{0(z)}$  – faktor vertikalne razvedenosti (preporučena vrijednost jest  $c_{0(z)} = 1,0$ )

$$v_b = 25 \text{ m/s (osnovna brzina vjetra)}$$

Intenzitet turbulencije  $l_{v(z)}$  određuje se prema izrazu:

$$l_{v(z)} = \frac{k_1}{c_0 * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad 1 \text{ m} \leq 3,66 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$$

$$l_{v(z)} = \frac{1}{1 * \ln\left(\frac{3,66}{0,003}\right)} = 0,23$$

gdje je:

$k_1$  – faktor turbulencije (preporučena vrijednost je  $k_1 = 1,0$ )

$c_0 = 1,0$  (faktor orografije)

$z = 3,66 \text{ m}$  (visina vrha krova nadstrešnice)

$z_0 = 0,003$  (duljina hrapavosti)

Tlak pri vršnoj brzini  $q_{p(z)}$  određuje se prema izrazu:

$$q_{p(z)} = \left[1 + 7 * l_{v(z)}\right] * \frac{1}{2} * \rho * v_{m(z)}^2$$



$$\rho_{p(z)} = [1 + 7 * 0,23] * \frac{1}{2} * 1,25 * 20,5 = 685,53 \text{ N/m}^2$$

gdje je:

$$I_{v(z)} = 0,23 \text{ (intenzitet turbulencije)}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (gustoća zraka očitana iz aneksa)}$$

$$v_{m(z)} = 20,5 \text{ m/s (srednja brzina vjetra)}$$

Tlak pri osnovnoj brzini  $q_b$  određuje se prema izrazu:

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

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,63 \text{ N/m}^2$$

gdje je:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (gustoća zraka očitana iz aneksa)}$$

$$v_b = 25 \text{ m/s (osnovna brzina vjetra)}$$

Faktor izloženosti  $c_{e(z)}$  određuje se prema izrazu:

$$c_{e(z)} = \frac{q_{p(z)}}{q_b}$$

$$c_{e(z)} = \frac{685,53}{390,63} = 1,75$$

gdje je:

$$q_{p(z)} = 685,53 \text{ N/m}^2 \text{ (tlak pri vršnoj brzini)}$$

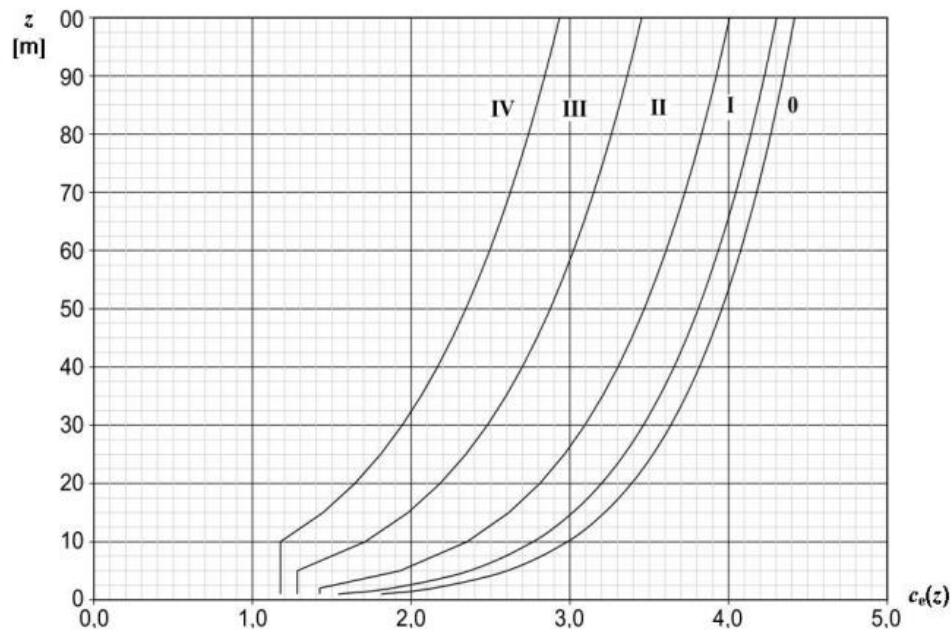
$$q_b = 390,63 \text{ N/m}^2 \text{ (tlak pri osnovnoj brzini)}$$

## 2. NAČIN

Osnovna brzina vjetra  $v_b = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$

Tlak pri osnovnoj brzini  $q_b = 1/2 * 1,25 * 25^2 = 390,63 \text{ N/m}^2$

Faktor izloženosti  $c_{e(z)}$  određuje se iz grafa (Slika 12) ovisno o kategoriji terena objekta za određenu lokaciju i visine građevine do vrha. Određeno je da se radi o kategoriji terena II i visini građevine od 3,66 m pri čemu faktor izloženosti  $c_{e(z)}$  iznosi  $c_{e(z)} = 1,75$ .



Slika 17. Grafički prikaz faktora izloženosti  $c_{e(z)}$  za  $c_{0(z)} = 1,0$  i  $k_1 = 1,0$  [2]

Pritisak vjetra:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b$$

$$q_{p(z)} = 1,75 * 390,63 = 683,60 \text{ N/m}^2$$

gdje je:

$$c_{e(z)} = 1,75 \text{ (faktor izloženosti)}$$

$$q_b = 390,63 \text{ N/m}^2 \text{ (tlak pri osnovnoj brzini)}$$

Tlak vjetra  $w_e$  okomit je na vanjske površine i računa se prema izrazu  $w_e = q_{p(z)} * c_{pe}$  pri čemu je:

$q_{p(z)}$  – tlak pri vršnoj brzini

$c_{pe}$  – koeficijent vanjskog tlaka

Tlak pri vršnoj brzini  $q_{p(z)}$  određuje se prema izrazu:

$$q_{p(z)} = c_{e(z)} * q_b$$

$$q_{p(z)} = 1,75 * 0,391 = 0,684 \text{ kN/m}^2$$

Koeficijente  $c_f$  i  $c_e$  očitavamo iz tablice u ovisnosti o kutu  $\alpha$  (Tablica 3).

Tablica 4. Vrijednosti koeficijenata  $c_e$  i  $c_f$  za jednostrešne nadstrešnice [2]

| <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"></div> <div style="flex: 1; text-align: center;"> <p><b>Koeficijenti neto tlaka <math>c_{p,net}</math></b><br/>tlocrt</p> </div> </div> |                                    |                                   |                           |            |            |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------|------------|
| Nagib krova $\alpha$  | Zapriječenost $\varphi$            | Koeficijenti sveukupne sile $c_f$ | Područje A                | Područje B | Područje C |
| 0°  | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 0,2                             | + 0,5                     | + 1,8      | + 1,1      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 0,5                             | - 0,6                     | - 1,3      | - 1,4      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,3                             | - 1,5                     | - 1,8      | - 2,2      |
| 5°  | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 0,4                             | + 0,8                     | + 2,1      | + 1,3      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 0,7                             | - 1,1                     | - 1,7      | - 1,8      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4                             | - 1,6                     | - 2,2      | - 2,5      |
| 10°   | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 0,5                             | + 1,2                     | + 2,4      | + 1,6      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 0,9                             | - 1,5                     | - 2,0      | - 2,1      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4                             | <b>AE</b> - 1,6 <b>AE</b> | - 2,6      | - 2,7      |
| 15°   | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 0,7                             | + 1,4                     | + 2,7      | + 1,8      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 1,1                             | - 1,8                     | - 2,4      | - 2,5      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4                             | - 1,6                     | - 2,9      | - 3,0      |
| 20°   | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 0,8                             | + 1,7                     | + 2,9      | + 2,1      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 1,3                             | - 2,2                     | - 2,8      | - 2,9      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4                             | - 1,6                     | - 2,9      | - 3,0      |
| 25°   | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 1,0                             | + 2,0                     | + 3,1      | + 2,3      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 1,6                             | - 2,6                     | - 3,2      | - 3,2      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4                             | - 1,5                     | - 2,5      | - 2,8      |
| 30°   | Najveća vrijednost, svi $\varphi$  | + 1,2                             | + 2,2                     | + 3,2      | + 2,4      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 1,8                             | - 3,0                     | - 3,8      | - 3,6      |
|   | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4                             | - 1,5                     | - 2,2      | - 2,7      |

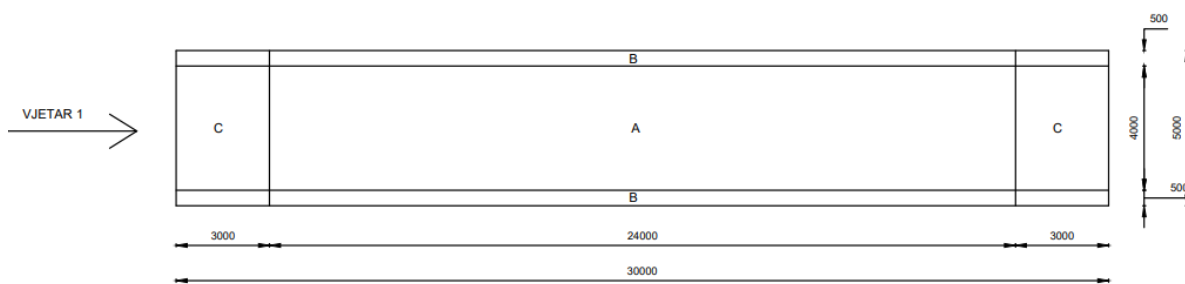
NAPOMENA: + vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema dolje  
- vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema gore

Za vrijednost kuta  $\alpha = 7,5^\circ$  aritmetičkom sredinom dvaju susjednih kutova ( $\alpha = 5^\circ$  i  $\alpha = 10^\circ$ ) očitavamo:

$\varphi = 0^\circ$  ,  $c_f = - 0,8$ ; zona A = - 1,3, zona B = - 1,85, zona C = - 1,95

$\varphi = 1^\circ$  ,  $c_f = - 1,4$ ; zona A = - 1,85, zona B = - 2,4, zona C = - 2,6

Opterećenja po zonama za slučaj a) i b) prikazani su na slici 13, za slučaj c) i d) na slici 14, a dijagrami opterećenja po zonama za slučajeve a) na slici 15 , b) na slici 16 , c) na slici 17 i d) na slici 18.



Slika 18. Opterećenja po zonama [2]

### VJETAR DJELUJE KAO PRITISAK

a)  $C_f = + 0,45$

| ZONA | POVRŠINA [m <sup>2</sup> ] | $q_{p(ze)}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $c_{pe}$ | $w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|------|----------------------------|----------------------------------|----------|----------------------------|
| A    | 96,0                       | 0,684                            | +1,00    | +0,684                     |
| B    | 15,0                       | 0,684                            | +2,25    | +1,539                     |
| C    | 12,0                       | 0,684                            | +1,45    | +0,992                     |

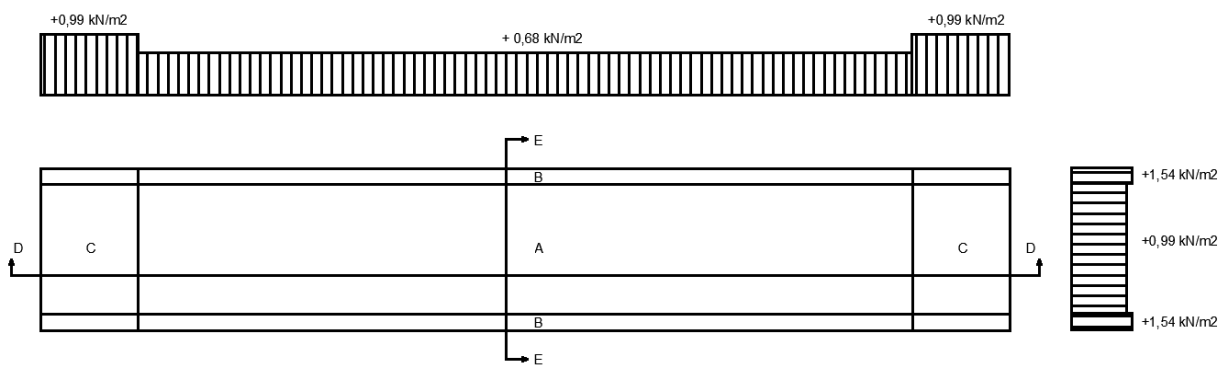
## VJETAR DJELUJE KAO USIS

b) PARKING JE PRAZAN,  $C_f = -0,8$  ( $\varphi = 0^\circ$ ) (Slika 13)

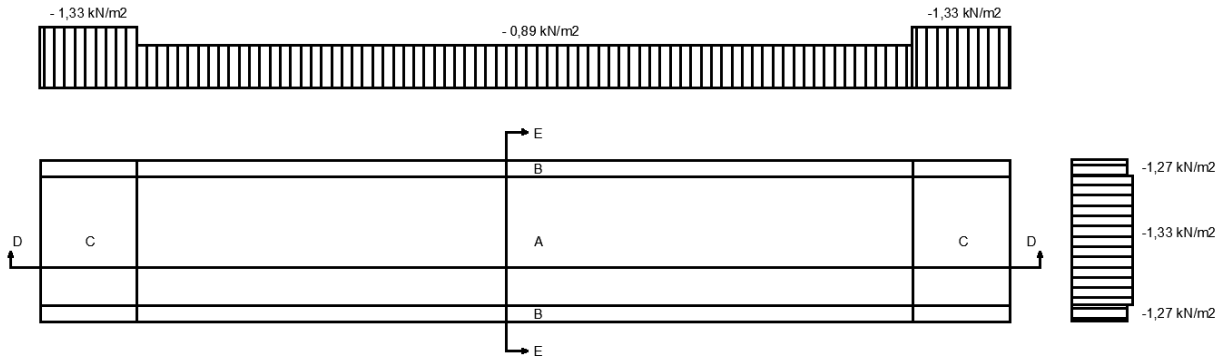
| ZONA | POVRŠINA [m <sup>2</sup> ] | $q_{p(ze)}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $c_{pe}$ | $w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|------|----------------------------|----------------------------------|----------|----------------------------|
| A    | 96,0                       | 0,684                            | -1,30    | -0,89                      |
| B    | 15,0                       | 0,684                            | -1,85    | -1,27                      |
| C    | 12,0                       | 0,684                            | -1,95    | -1,33                      |

c) PARKING JE PUN,  $C_f = -1,4$  ( $\varphi = 1^\circ$ ) (Slika 13)

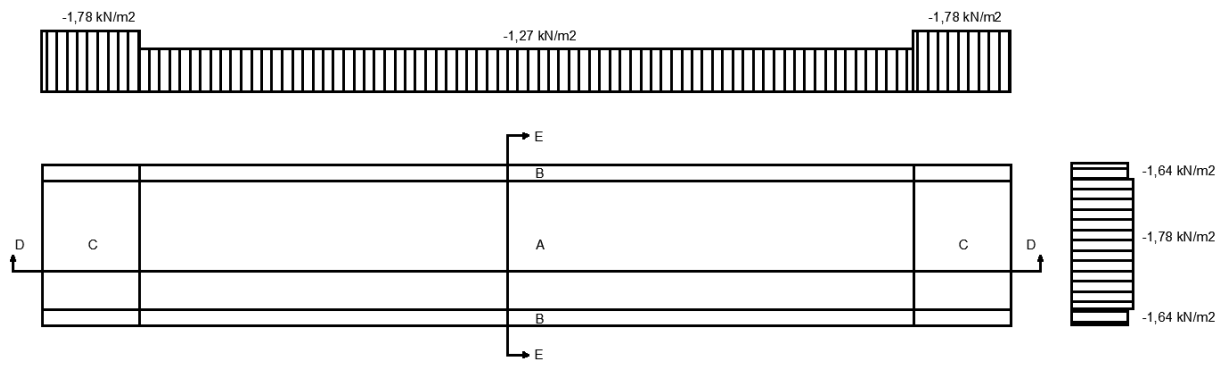
| ZONA | POVRŠINA [m <sup>2</sup> ] | $q_{p(ze)}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $c_{pe}$ | $w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|------|----------------------------|----------------------------------|----------|----------------------------|
| A    | 96,0                       | 0,684                            | -1,85    | -1,27                      |
| B    | 15,0                       | 0,684                            | -2,40    | -1,64                      |
| C    | 12,0                       | 0,684                            | -2,60    | -1,78                      |



Slika 19. Dijagram opterećenja po zonama za slučaj a) [2]



Slika 20. Dijagram opterećenja po zonama za slučaj b) [2]



Slika 21. Dijagram opterećenja po zonama za slučaj c) [2]

## 5. KOMBINACIJE DJELOVANJA

Djelovanja na konstrukciju koja se uzimaju u proračun:

$g_k$  – karakteristično stalno djelovanje od težine pokrova

$s_k$  – karakteristično promjenjivo djelovanje od snijega

$w_{k(\text{pritisak})}$  – karakteristično promjenjivo djelovanje od vjetra (vjetar djeluje kao pritisak)

$w_{k(\text{usis}_1)}$  – karakteristično promjenjivo djelovanje od vjetra (vjetar djeluje kao usis -  $\varphi = 0^\circ$ )

$w_{k(\text{usis}_2)}$  – karakteristično promjenjivo djelovanje od vjetra (vjetar djeluje kao usis -  $\varphi = 1^\circ$ )

Vrijednosti karakterističnih / reprezentativnih djelovanja množimo s parcijalnim koeficijentima kako bi se dobila računaska djelovanja. Vrijednosti parcijalnih koeficijenata ovise o kojem se graničnom stanju radi, graničnom stanju nosivosti (Slika 20.) ili graničnom stanju uporabljivosti (Slika 21.), kao i o vrsti djelovanja.

| <b>(GSN)</b>      | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ |
|-------------------|------------|------------|
| <b>POVOLJNO</b>   | 1,00       | 0          |
| <b>NEPOVOLJNO</b> | 1,35       | 1,5        |

Slika 22. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za GSN [8]

| <b>(GSU)</b>      | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ |
|-------------------|------------|------------|
| <b>POVOLJNO</b>   | 1,00       | 0          |
| <b>NEPOVOLJNO</b> | 1,00       | 1,00       |

Slika 23. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za GSU [8]

Ukoliko snijeg i vjetar djeluju istovremeno, manje dominantnije djelovanje dodatno umanjujemo faktorom kombinacije čime se općenito umanjuje njegovo djelovanje na konstrukciju (Tablica 5).

Tablica 5. Faktori kombinacije  $\Psi_0$  za snijeg i vjetar

| PRORAČUNSKO DJELOVANJE | FAKTORI KOMBINACIJE $\Psi_0$ |
|------------------------|------------------------------|
| snijeg                 | 0,5                          |
| vjetar                 | 0,6                          |

Kombinacije djelovanja definirane su za granično stanje nosivosti (GSN/ULS) te granično stanje uporabljivosti (GSU/SLS) za djelovanje vjetra, snijega i stalnog opterećenja, koje objedinjuje vlastitu težinu konstrukcije te stalno djelovanje pokriva, na konstrukciju nadstrešnice pomoću programa Robot Structural Analysis Professional.

| Combinations | Name                            | Analysis type      | Combination | Case nature | Definition               |
|--------------|---------------------------------|--------------------|-------------|-------------|--------------------------|
| 7 (C)        | stalno + snijeg                 | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+3*1.50        |
| 8 (C)        | stalno + vjetar_prisak          | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+4*1.50        |
| 9 (C)        | stalno + vjetar_usis_1          | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+5*1.50        |
| 10 (C)       | stalno + vjetar_usis_2          | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+6*1.50        |
| 11 (C)       | stalno + SNIJEG + vjetar_prisak | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+3*1.50+4*0.90 |
| 12 (C)       | stalno + SNIJEG + vjetar_usis_1 | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+3*1.50+5*0.90 |
| 13 (C)       | stalno + SNIJEG + vjetar_usis_2 | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+3*1.50+6*0.90 |
| 14 (C)       | stalno + VJETAR_PRISAK + snijeg | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+4*1.50+3*0.75 |
| 15 (C)       | stalno + VJETAR_USIS_1 + snijeg | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+5*1.50+3*0.75 |
| 16 (C)       | stalno + VJETAR_USIS_2 + snijeg | Linear Combination | ULS         | Structural  | (1+2)*1.35+6*1.50+3*0.75 |
| 17 (C)       | stalno + snijeg                 | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+3)*1.00             |
| 18 (C)       | stalno + vjetar_prisak          | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+4)*1.00             |
| 19 (C)       | stalno + vjetar_usis_1          | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+5)*1.00             |
| 20 (C)       | stalno + vjetar_usis_2          | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+6)*1.00             |
| 21 (C)       | stalno + SNIJEG + vjetar_prisak | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+3)*1.00+4*0.60      |
| 22 (C)       | stalno + SNIJEG + vjetar_usis_1 | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+3)*1.00+5*0.60      |
| 23 (C)       | stalno + SNIJEG + vjetar_usis_2 | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+3)*1.00+6*0.60      |
| 24 (C)       | stalno + VJETAR_PRISAK + snijeg | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+4)*1.00+3*0.50      |
| 25 (C)       | stalno + VJETAR_USIS_1 + snijeg | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+5)*1.00+3*0.50      |
| 26 (C)       | stalno + VJETAR_USIS_2 + snijeg | Linear Combination | SLS         | Structural  | (1+2+6)*1.00+3*0.50      |

Slika 24. Kombinacije djelovanja definirane u programu Robot Structural Analysis Professional [3]



***LISTA KOMBINACIJA DJELOVANJA:***

*GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI*

Kombinacija 1: stalno + snijeg

Kombinacija 2: stalno + vjetar (pritisak)

Kombinacija 3: stalno + vjetar (usis\_1)

Kombinacija 4: stalno + vjetar (usis\_2)

Kombinacija 5: stalno + SNIJEG + vjetar (pritisak) – kritična kombinacija za GSN

Kombinacija 6: stalno + SNIJEG + vjetar (usis\_1)

Kombinacija 7: stalno + SNIJEG + vjetar (usis\_1)

Kombinacija 8: stalno + VJETAR (PRITISAK) + snijeg

Kombinacija 9: stalno + VJETAR (USIS\_1) + snijeg

Kombinacija 10: stalno + VJETAR (USIS\_2) + snijeg

*GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI*

Kombinacija 11: stalno + snijeg

Kombinacija 12: stalno + vjetar (pritisak)

Kombinacija 13: stalno + vjetar (usis\_1)

Kombinacija 14: stalno + vjetar (usis\_2)

Kombinacija 15: stalno + SNIJEG + vjetar (pritisak) – kritična kombinacija za GSU

Kombinacija 16: stalno + SNIJEG + vjetar (usis\_1)

Kombinacija 17: stalno + SNIJEG + vjetar (usis\_1)

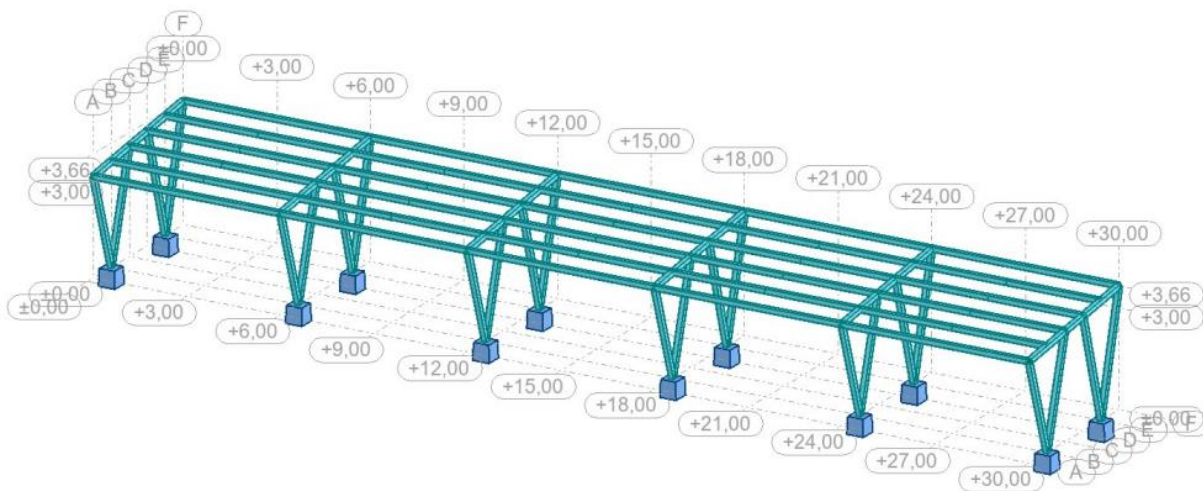
Kombinacija 18: stalno + VJETAR (PRITISAK) + snijeg

Kombinacija 19: stalno + VJETAR (USIS\_1) + snijeg

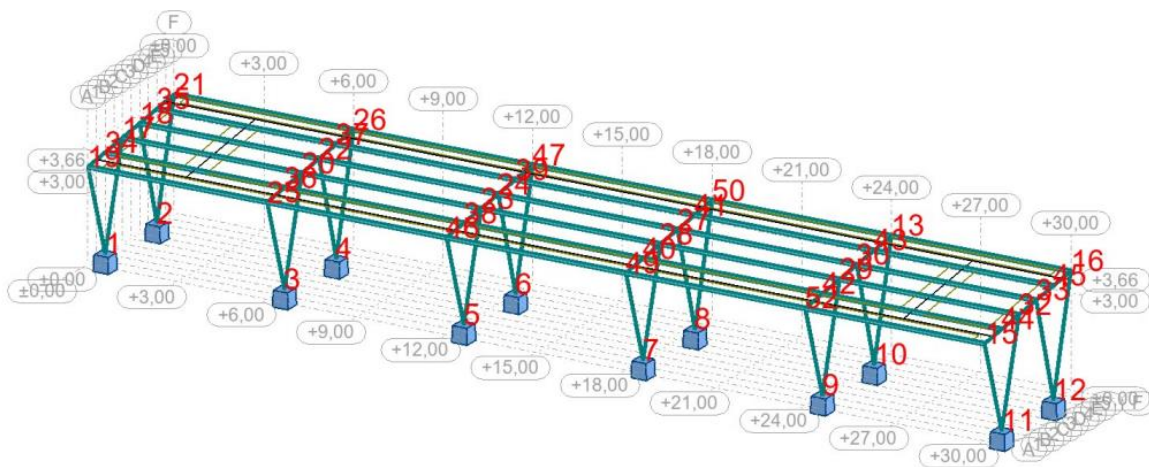
Kombinacija 20: stalno + VJETAR (USIS\_2) + snijeg

## 6. STATIČKI PRORAČUN

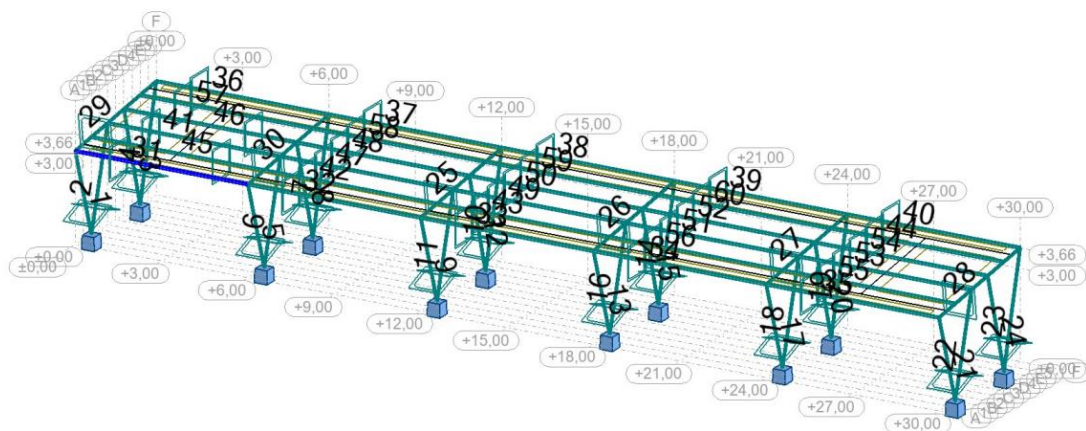
Statički proračun konstrukcije čelične nadstrešnice jest proveden u programu Robot Structural Analysis Professional.



Slika 25. Model konstrukcije nadstrešnice (3D) [3]



Slika 26. Prikaz čvorova konstrukcije [3]



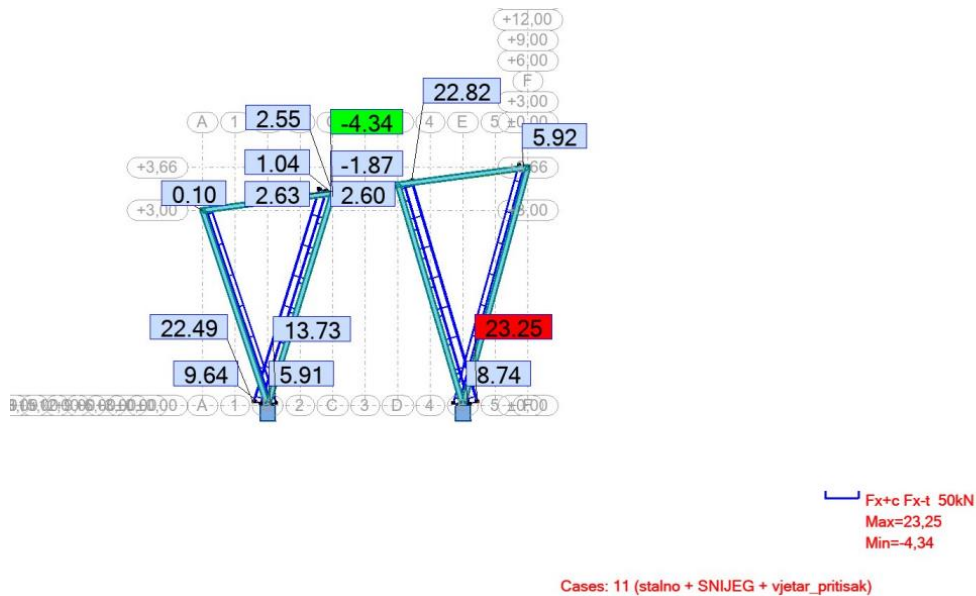
Slika 27. Prikaz elemenata konstrukcije [3]

| Member | Node 1 | Node 2 | Section     | Material | Length (m) | Gamma (Deg) | Type          | Structure object |
|--------|--------|--------|-------------|----------|------------|-------------|---------------|------------------|
| 1      | 1      | 19     | STUP (80x4) | S275     | 3,16       | 0,0         | Column        | Column           |
| 2      | 1      | 17     | STUP (80x4) | S275     | 3,41       | 0,0         | Column        | Column           |
| 3      | 2      | 18     | STUP (80x4) | S275     | 3,54       | 0,0         | Column        | Column           |
| 4      | 2      | 21     | STUP (80x4) | S275     | 3,79       | 0,0         | Column        | Column           |
| 5      | 3      | 25     | STUP (80x4) | S275     | 3,16       | 0,0         | Column        | Column           |
| 6      | 3      | 20     | STUP (80x4) | S275     | 3,41       | 0,0         | Column        | Column           |
| 7      | 4      | 26     | STUP (80x4) | S275     | 3,79       | 0,0         | Column        | Column           |
| 8      | 4      | 22     | STUP (80x4) | S275     | 3,54       | 0,0         | Column        | Column           |
| 9      | 5      | 46     | STUP (80x4) | S275     | 3,16       | 0,0         | Column        | Column           |
| 10     | 6      | 47     | STUP (80x4) | S275     | 3,79       | 0,0         | Column        | Column           |
| 11     | 5      | 23     | STUP (80x4) | S275     | 3,41       | 0,0         | Column        | Column           |
| 12     | 6      | 24     | STUP (80x4) | S275     | 3,54       | 0,0         | Column        | Column           |
| 13     | 7      | 49     | STUP (80x4) | S275     | 3,16       | 0,0         | Column        | Column           |
| 14     | 8      | 50     | STUP (80x4) | S275     | 3,79       | 0,0         | Column        | Column           |
| 15     | 8      | 27     | STUP (80x4) | S275     | 3,54       | 0,0         | Column        | Column           |
| 16     | 7      | 28     | STUP (80x4) | S275     | 3,41       | 0,0         | Column        | Column           |
| 17     | 9      | 52     | STUP (80x4) | S275     | 3,16       | 0,0         | Column        | Column           |
| 18     | 9      | 29     | STUP (80x4) | S275     | 3,41       | 0,0         | Column        | Column           |
| 19     | 10     | 13     | STUP (80x4) | S275     | 3,79       | 0,0         | Column        | Column           |
| 20     | 10     | 30     | STUP (80x4) | S275     | 3,54       | 0,0         | Column        | Column           |
| 21     | 11     | 15     | STUP (80x4) | S275     | 3,16       | 0,0         | Column        | Column           |
| 22     | 11     | 32     | STUP (80x4) | S275     | 3,41       | 0,0         | Column        | Column           |
| 23     | 12     | 16     | STUP (80x4) | S275     | 3,79       | 0,0         | Column        | Column           |
| 24     | 12     | 33     | STUP (80x4) | S275     | 3,54       | 0,0         | Column        | Column           |
| 25     | 46     | 47     | GNK (80x4)  | S275     | 5,04       | 0,0         | Column        | Beam             |
| 26     | 49     | 50     | GNK (80x4)  | S275     | 5,04       | 0,0         | Column        | Beam             |
| 27     | 52     | 13     | GNK (80x4)  | S275     | 5,04       | 0,0         | Column        | Beam             |
| 28     | 15     | 16     | GNK (80x4)  | S275     | 5,04       | 0,0         | Column        | Beam             |
| 29     | 19     | 21     | GNK (80x4)  | S275     | 5,04       | 0,0         | Column        | Beam             |
| 30     | 25     | 26     | GNK (80x4)  | S275     | 5,04       | 0,0         | Column        | Beam             |
| 31     | 19     | 25     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 32     | 25     | 46     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 33     | 46     | 49     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 34     | 49     | 52     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 35     | 52     | 15     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 36     | 21     | 26     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 37     | 26     | 47     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 38     | 47     | 50     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 39     | 50     | 13     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 40     | 13     | 16     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Simple member | Beam             |
| 41     | 17     | 20     | TCAR 50x4   | S275     | 6,00       | 0,0         | Timber Member | Beam             |

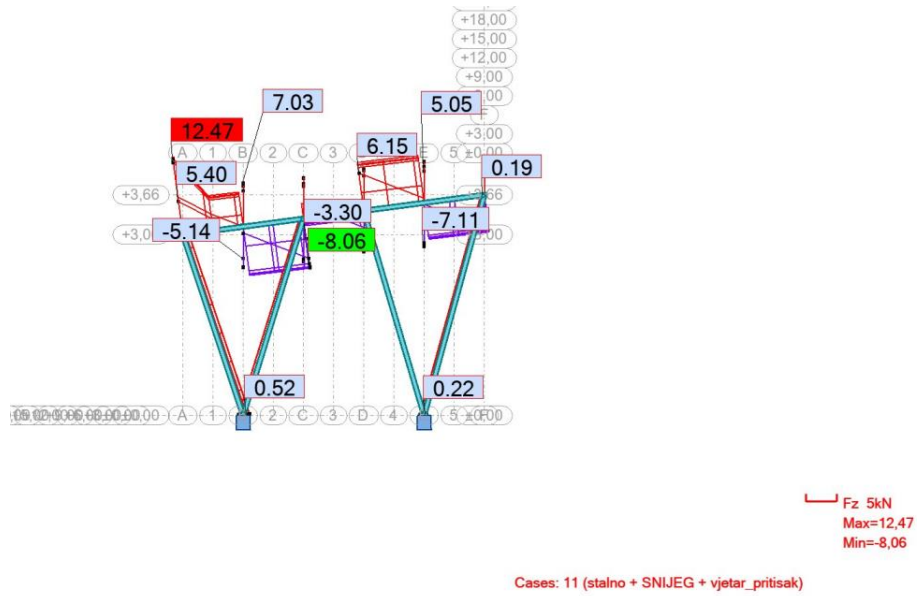
|    |    |    |           |      |      |     |               |      |
|----|----|----|-----------|------|------|-----|---------------|------|
| 42 | 36 | 38 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 43 | 38 | 40 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 44 | 43 | 45 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 45 | 36 | 34 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 46 | 22 | 18 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 47 | 20 | 23 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 48 | 22 | 24 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 49 | 23 | 28 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 50 | 24 | 27 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 51 | 28 | 29 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 52 | 27 | 30 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 53 | 29 | 32 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 54 | 30 | 33 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 55 | 42 | 44 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 56 | 40 | 42 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 57 | 35 | 37 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 58 | 37 | 39 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 59 | 39 | 41 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |
| 60 | 41 | 43 | TCAR 50x4 | S275 | 6,00 | 0,0 | Timber Member | Beam |

Slika 28. Tabela prikaz elemenata i poprečnih presjeka [3]

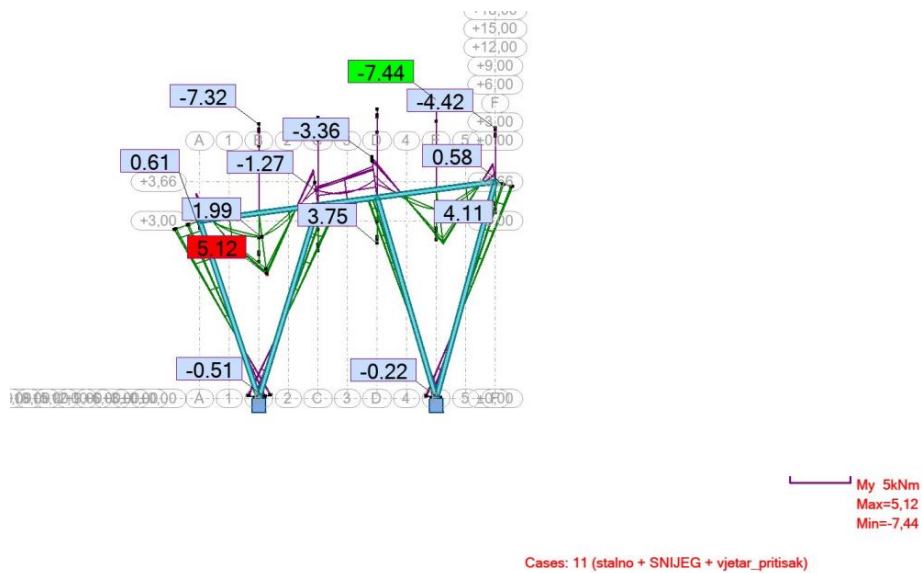
### 6.1. Granično stanje nosivosti (GSN) – glavni nosač + stup



Slika 29: Prikaz vrijednosti dijagrama uzdužnih sila (kN) [3]

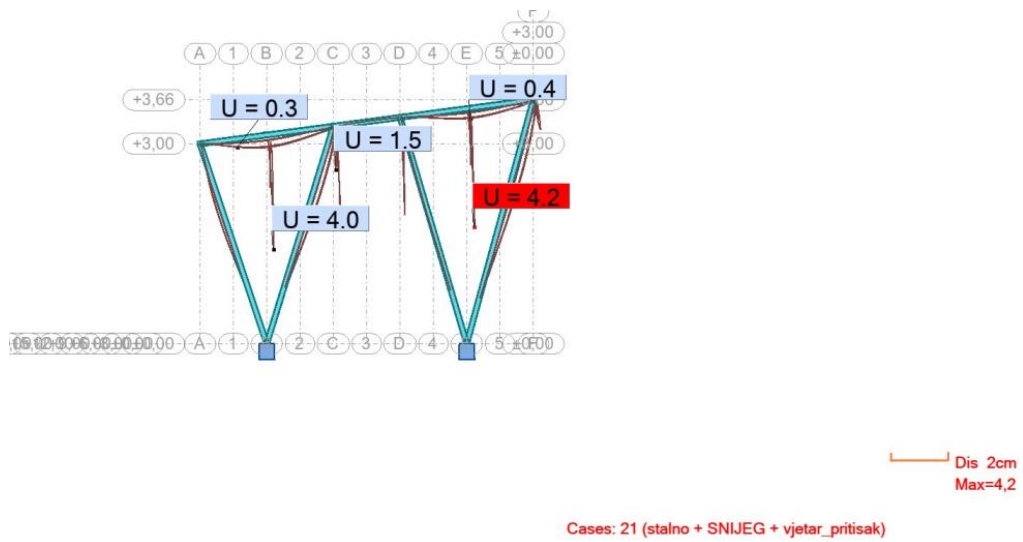


Slika 30: Prikaz vrijednosti dijagrama poprečnih sila (kN) [3]



Slika 31: Prikaz vrijednosti dijagrama momenata savijanja  $M_y$  (kNm) [3]

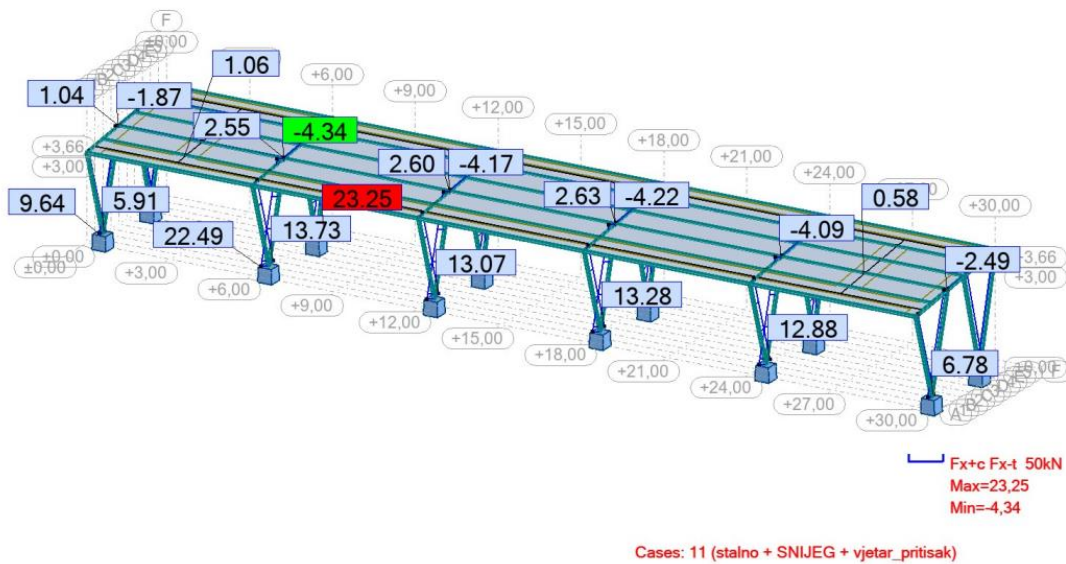
## 6.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU) – glavni nosač + stup



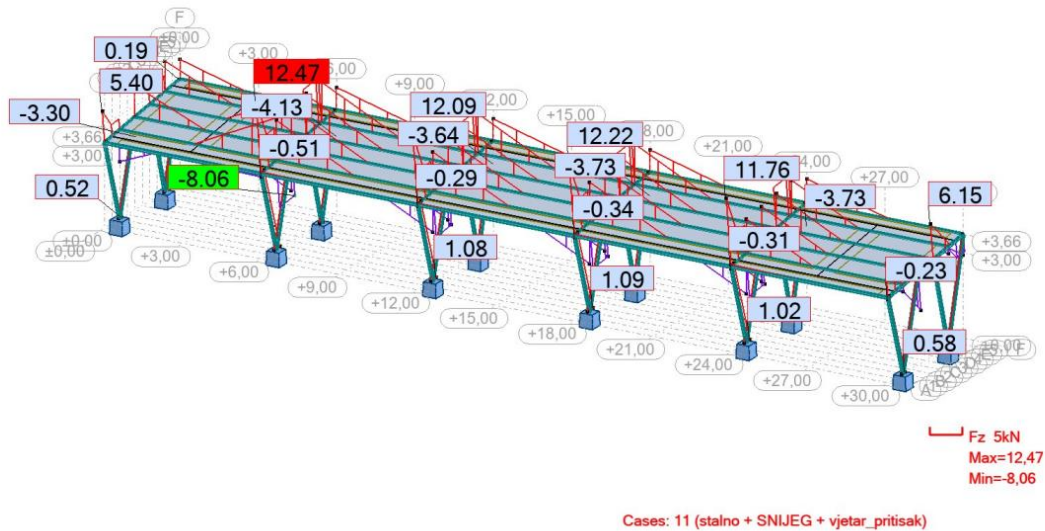
Slika 32: Vrijednosti pomaka (mm) [3]



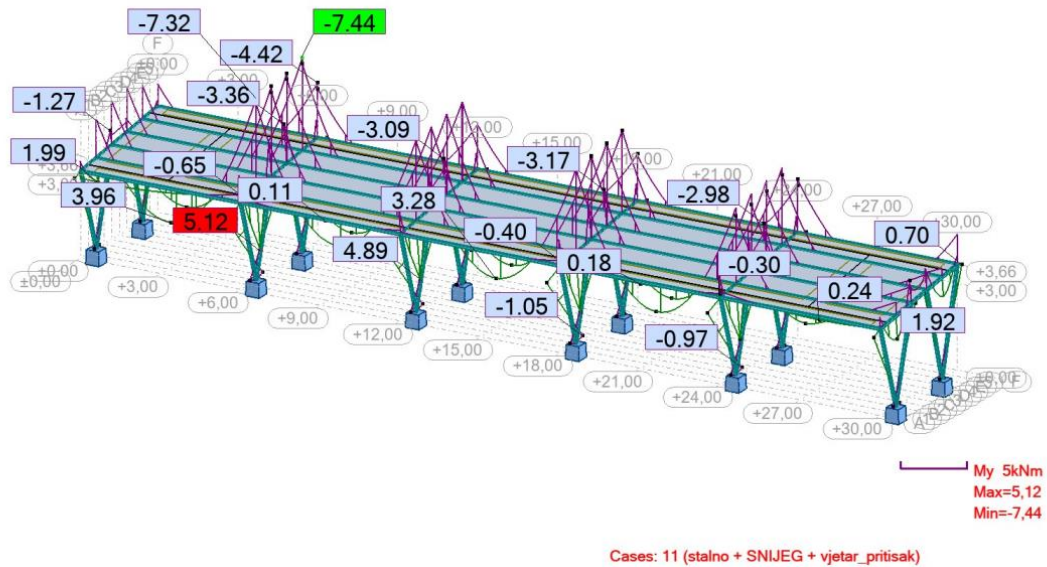
### 6.3. Granično stanje nosivosti (GSN) – sekundarni nosač



Slika 33: Prikaz vrijednosti dijagrama uzdužnih sila (kN) [3]

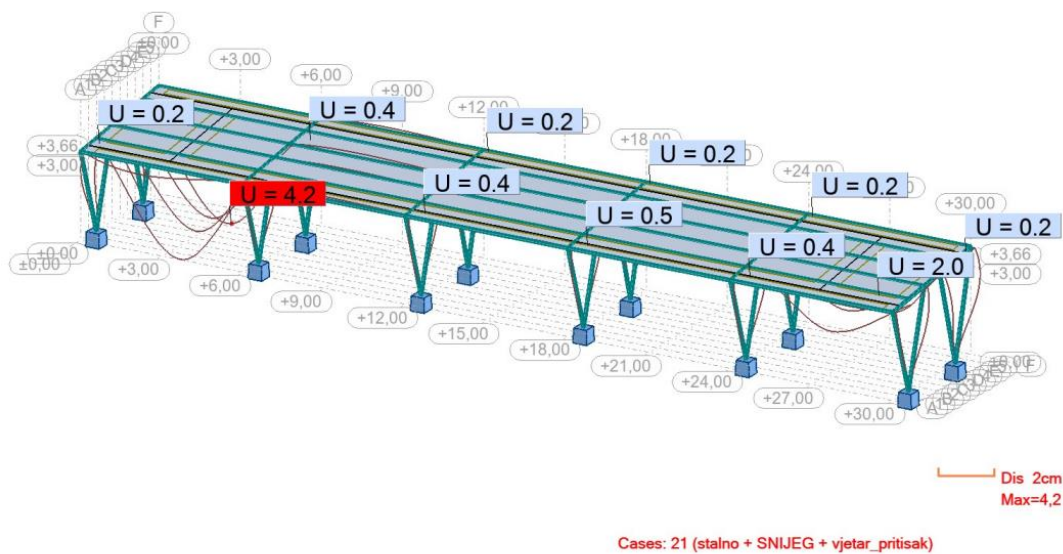


Slika 34: Prikaz vrijednosti dijagrama poprečnih sila (kN) [3]



Slika 35: Prikaz vrijednosti dijagrama momenata savijanja  $M_y$  (kNm) [3]

#### 6.4. Granično stanje uporabljivosti (GSU) – sekundarni nosač



Slika 36: Vrijednosti pomaka (mm) [3]

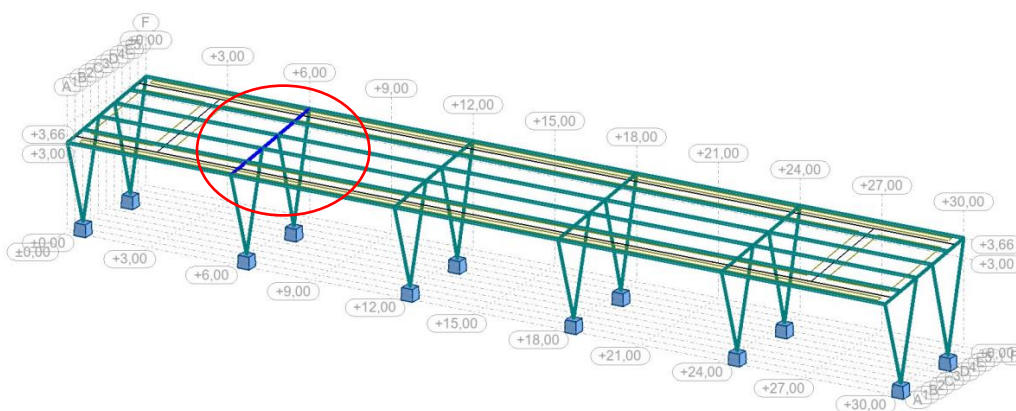


## 7. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

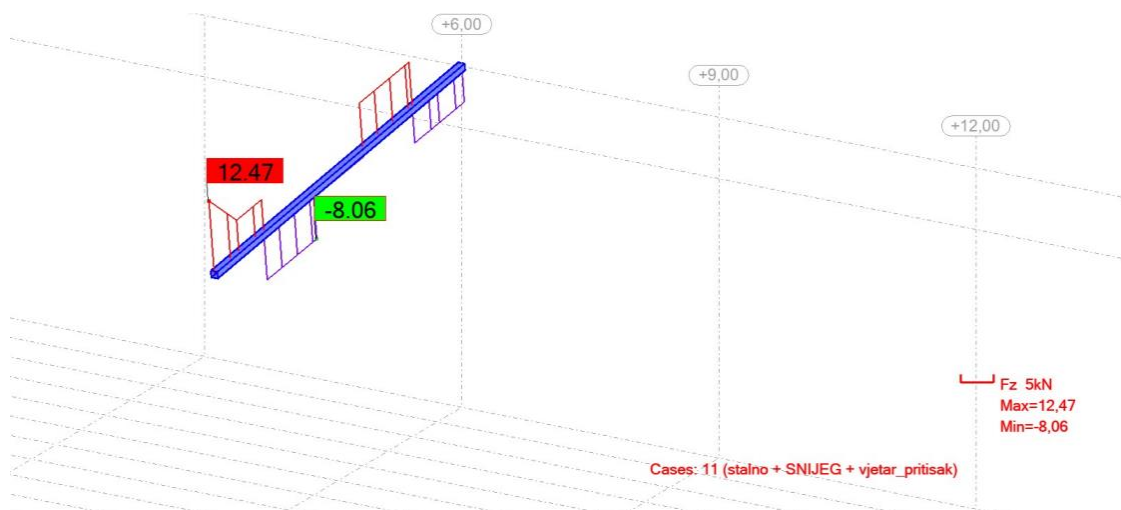
### 7.1. Dimenzioniranje glavnog nosača

Prikaz položaja kritičnog glavnog nosača na konstrukciji (Slika 31) te dijagram momenta savijanja (Slika 33) i poprečnih sila (Slika 32) na istome. Uzdužne sile na glavnom nosaču su malih iznosa stoga ih je moguće zanemariti u daljnjem proračunu.

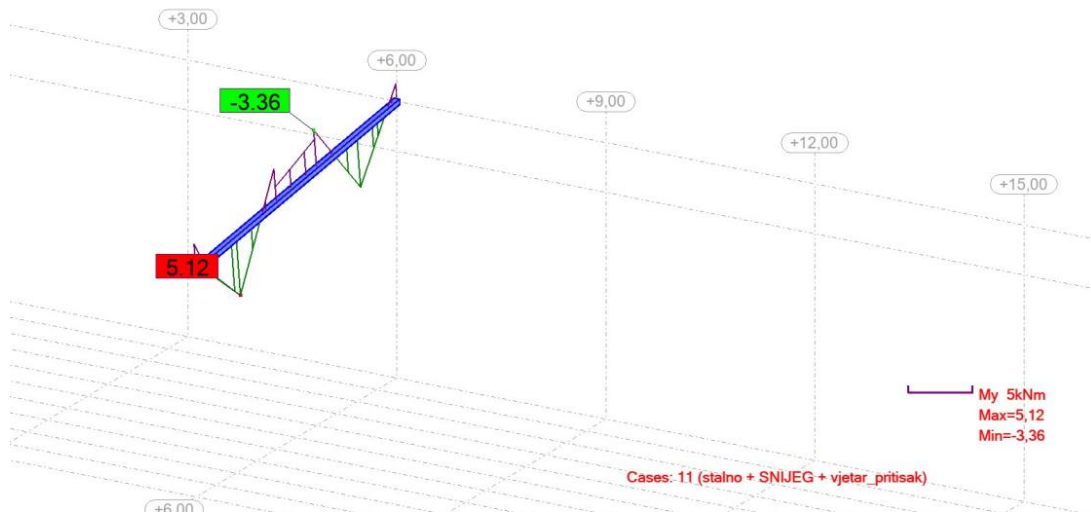
#### 7.1.1. Granično stanje nosivosti (GSN)



Slika 37: Prikaz kritičnog glavnog nosača na konstrukciji nadstrešnice [3]



Slika 38: Dijagram poprečnih sila na kritičnom glavnom nosaču konstrukcije nadstrešnice [3]



Slika 39: Dijagram momenta savijanja na kritičnom glavnom nosaču nadstrešnice [3]

Podaci o poprečnome presjeku (kvadratni profil 80x4 mm)

| TCAR 80x4 mm                         |       |
|--------------------------------------|-------|
| h [mm]                               | 80    |
| b [mm]                               | 80    |
| t [mm]                               | 4     |
| A [cm <sup>2</sup> ]                 | 11,75 |
| r <sub>i</sub> [mm]                  | 4     |
| I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]    | 111,0 |
| I <sub>t</sub> [cm <sup>4</sup> ]    | 180,0 |
| W <sub>pl,y</sub> [cm <sup>3</sup> ] | 33,10 |
| I <sub>ω</sub> [cm <sup>6</sup> ]    | 0,54  |

### Svojstva čelika (S275)

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| E [N/mm <sup>2</sup> ]              | 210 000 |
| G [N/mm <sup>2</sup> ]              | 81 000  |
| v                                   | 0,3     |
| P [kg/m <sup>3</sup> ]              | 7850    |
| f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 275     |
| f <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 430     |

#### 1. Dimenzioniranje na razini poprečnog presjeka

a) klasifikacija poprečnog presjeka

**HRBAT** – unutarnji element, izložen savijanju

Ravan dio I hrpta određuje se prema izrazu:

$$c = d = h - 3 * t_w = 80 - 3 * 4 = 68 \text{ mm}$$

gdje je:

$$h = 80 \text{ mm (visina profila)}$$

$$t = 4 \text{ mm (debljina pojasnice I)}$$

Uvjet za klasu 1:

Klasifikacija hrpta određuje se prema izrazu:

$$c/t \leq 72 \varepsilon$$

gdje je:

$$c = 68 \text{ mm (visina hrpta)}$$

$$t = 4 \text{ mm (debljina hrpta)}$$

$\varepsilon$  - izduženje čelika

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\frac{d}{t} \leq 72 * \varepsilon$$

$$\frac{68}{4} \leq 66,24$$

$$17,0 < 66,24$$

Hrbat je klasa 1.

**POJASNICA** – unutarnji element, gornja pojasnica izložena tlaku

$$d = h - 3 * t_w = 80 - 3 * 4 = 68 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu 1:

Klasifikacija hrpta određuje se prema izrazu:

$$c/t \leq 33 \varepsilon$$

gdje je:

$$c = 68 \text{ mm (širina pojasnice)}$$

$$t = 4 \text{ mm (debljina pojasnice)}$$

$\varepsilon$  - izduženje čelika

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\frac{d}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{68}{4} \leq 30,36$$

$$17,0 < 30,36$$

Pojasnica je klasa 1.

Budući da su hrbat i pojasnica klasa 1, cijeli je presjek klase 1.

## PROVJERA OTPORNOSTI

- otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje određuje se prema izrazu:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{33,10 * 27,5}{1,0} = 910,25 \text{ kNcm} = 9,10 \text{ kNm}$$

### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$5,12 \text{ kNm} < 9,10 \text{ kNm}$$

gdje je:

$W_{pl,y} = 33,10 \text{ cm}^3$  (plastični moment otpora u y smjeru)

$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$  (granica popuštanja čelika)

$\gamma_{M0} = 1,0$  (parcijalni koeficijent sigurnosti)

$M_{y,Ed} = 5,12 \text{ kNm}$  (proračunski moment savijanja glavnog nosača)

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{5,12}{9,10} = 0,56 < 1 \approx 56\%$$

- otpornost poprečnog presjeka na posmik

Provjera izbočivanja hrpta određuje se prema izrazu:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \frac{\epsilon}{\mu}$$

$$\frac{h - 2 * t}{t} \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{80 - 2 * 4}{t} \leq 72 * \frac{1}{1,2}$$

18,0 < 60 Nema izbočivanja hrpta.

gdje je:

$h_w = 72$  mm (visina hrpta između pojasnica)

$t = 4$  mm (debljina hrpta I pojasnice)

$\eta = 1,2$  (faktor posmične površine)

$\varepsilon = 0,92$  (izduženje čelika)

Posmična otpornost poprečnog presjeka određuje se prema izrazu:

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

Posmična površina poprečnog presjeka određuje se prema izrazu:

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

$$A_{v,z} = 11,75 - 2 * 8,0 * 0,4 + (0,4 + 2 * 0,4) * 0,4 \geq 1,2 * 7,2 * 0,4$$

$$A_{v,z} = 5,83 \text{ cm}^2 > 3,46 \text{ cm}^2$$

gdje je:

$A = 11,75 \text{ cm}^2$  (površina poprečnog presjeka)

$b = 8,0 \text{ cm}$  (širina profila)

$t = 0,4 \text{ cm}$  (debljina hrpta I pojasnice)

$r = 0,4 \text{ cm}$  (polumjer valjanog dijela između pojasnica I hrpta)

$\eta = 1,2$  (faktor posmične površine)

$h_w = 7,2 \text{ cm}$  (visina hrpta između pojasnica)

$$V_{pl,Rd} = 5,83 * \frac{27,5}{\sqrt{3}} * \frac{1}{1,0} = 92,56 \text{ kN}$$

gdje je:

$A_v = 5,83 \text{ cm}^2$  (posmična površina presjeka)

$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^3$  (granica popuštanja čelika)

$\gamma_{MO} = 1,0$  (parcijalni faktor sigurnosti)

#### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$12,47 \text{ kN} \leq 92,56 \text{ kN}$$

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{12,47}{92,56} = 0,13 < 1 \approx 13\%$$

- interakcija savijanja i posmika (M-V)

Provjera razine poprečne sile određuje se prema izrazu:

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

$$8,06 \text{ kN} < 46,28 \text{ kN} \quad \text{Nema redukcije plastične otpornosti na savijanje.}$$

gdje je:

$V_{z,Ed} = 8,06 \text{ kN}$  (proračunska poprečna sila)

$V_{pl,Rd} = 92,56 \text{ kN}$  (proračunska otpornost na poprečnu silu)

#### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$5,12 \text{ kNm} < 9,10 \text{ kNm}$$

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{5,12}{9,10} = 0,56 < 1 \approx 56\%$$

## 2. Dimenzioniranje na razini elementa

- bočno-torzijsko izvijanje

Faktori potrebni za izračun kritičnog momenta bočno – torzijskog izvijanja:  $C_1 = 2,57$  i  $C_2 = 1,55$

Razmak između točaka bočnih pridržanja:  $L = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$

U slučajevima kada poprečni presjeci na krajevima slobodno rotiraju i kada se mogu slobodno kriviti:  $k = k_w = 1,0$

Razmak između centra posmika i točke u kojoj djeluje opterećenje:  $z_g = \frac{h}{2} = 40 \text{ mm}$

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

Elastični kritični moment bočno-torzijskog izvijanja  $M_{cr}$  određuje se prema izrazu:

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L)^2} \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right]$$
$$M_{cr} = 2,57 * \frac{\pi^2 * 21000 * 111}{(1,0 * 100)^2} \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{540}{111} + \frac{(1,0 * 100)^2 * 8077 * 180}{\pi^2 * 21000 * 111} + (1,55 * 4)^2} - 1,55 * 4 \right]$$
$$M_{cr} = 5912,55 * \left[ \sqrt{4,86 + 631,95 + 38,44} - 6,2 \right]$$
$$M_{cr} = 116983,19 \text{ kNcm}$$

gdje je:

$C_1 = 2,57$  (faktor za izračun kritičnog momenta bočno- torzijskog izvijanja)

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

$I_z = 111,0 \text{ cm}^4$  (moment inercije u z smjeru)

$L = 100 \text{ cm}$  (razmak točaka bočnog pridržanja)

$k, k_w = 1$  (faktori krivljenja)

$I_\omega = 0,54 \text{ cm}^6$  (konstanta krivljenja)

$G = 8077 \text{ kN/cm}^2$  (modul posmika)



$I_t = 180,0 \text{ cm}^3$  (torzijska konstanta)

$C_2 = 1,55$  (faktor za izračun kritičnog momenta bočno-torzijskog izvijanja)

$z_g = 4,0 \text{ cm}$  (razmak između čentra posmika i točke djelovanja opterećenja)

Bezdimenzionalna vitkost elementa  $\lambda_{LT}$  određuje se prema izrazu:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{33,10 * 27,5}{116983,19}} = 0,09$$

gdje je:

$W_{pl,y} = 33,10 \text{ cm}^3$  (moment otpora u y smjeru)

$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$  (granica popuštanja čelika)

$M_{cr} = 116983,19$  (elastični kritični moment bočno-torzijskog izvijanja)

Krivulja bočno – torzijskog izvijanja – d

Faktor imperfekcije za ostale presjeke = 0,76

Faktor bočno – torzijskog izvijanja  $\phi_{LT}$  određuje se prema izrazu:

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + 0,76(0,09 - 0,2) + 0,09^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,72$$

gdje je:

$\alpha_{LT} = 0,76$  (faktor imperfekcije)

$\lambda_{LT} = 0,09$  (vilkost elementa)

Faktor redukcije  $\chi_{LT}$  određuje se prema izrazu:

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,72^2 + \sqrt{0,72^2 - 0,09^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} = 0,7 < 1$$

gdje je:

$\phi_{LT} = 0,72$  (faktor bočno-torzijskog izvijanja)

$\lambda_{LT} = 0,09$  (vitkost elementa)

Za klasu 1, otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje  $M_{b,Rd}$  određuje se prema izrazu::

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7 \frac{33,10 * 27,5}{1,1} = 579,25 \text{ kNcm} = 5,79 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

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

$$5,12 \text{ kNm} < 5,79 \text{ kNm}$$

gdje je:

$\chi_{IT} = 0,7$  (faktor redukcije)

$W_{pl,y} = 33,10 \text{ cm}^3$  (moment otpora u y smjeru)

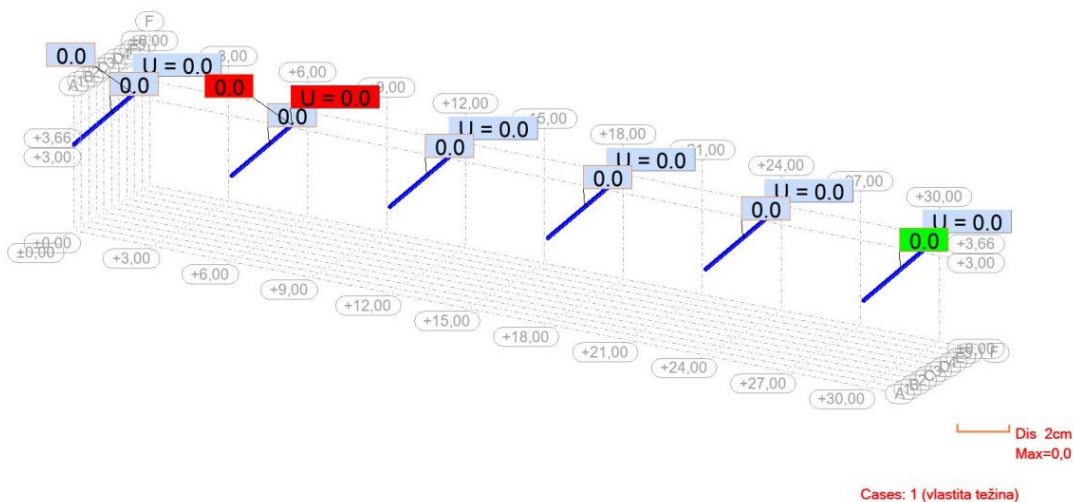
$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$  (granica popuštanja čelika)

$\gamma_{M0} = 1,1$  (parcijalni koeficijent sigurnosti)

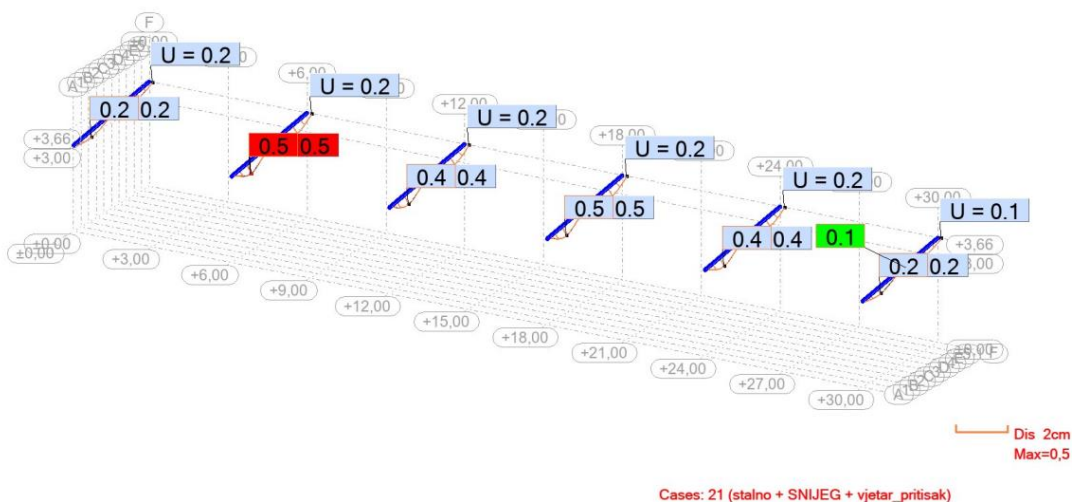
$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{5,12}{5,79} = 0,88 < 1 \approx 88\%$$

Otpornost elementa zadovoljava na bočno – torzijsko izvijanje.

### 7.1.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU)



Slika 40. Pomak od vlastite težine [3]



Slika 41. Pomak od kritične kombinacije [3]

Najveći dopušteni progib za dano opterećenje mora biti manje ili jednako  $L/250$  za glavni nosač. Vertikalni progib nosača, od djelovanja vlastite težine, iznosi 0 mm, a od djelovanja kritične kombinacije iznosi 0,5 mm.

Provjera vertikalnog progiba nosača na slobodnom kraju od djelovanja vlastite težine:

$$\delta = 0 \text{ cm} = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{504}{200} = 2,52 \text{ cm} = 25,2 \text{ mm}$$

$$\delta < \delta_{dop}$$

$$0 \text{ mm} < 25,2 \text{ mm}$$

Nema progiba!

Provjera vertikalnog progiba nosača od djelovanja kritične kombinacije:

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

$$\delta_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{504}{200} = 2,52 \text{ cm} = 25,2 \text{ mm}$$

$$\delta < \delta_{dop}$$

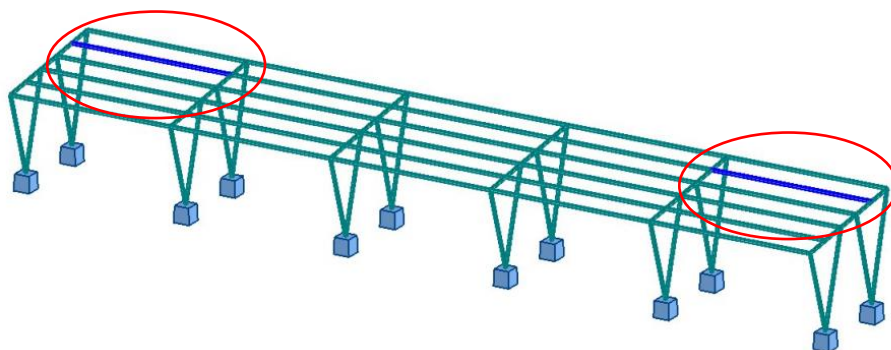
$$5,0 \text{ mm} < 25,2 \text{ mm}$$

Progib je zadovoljen!

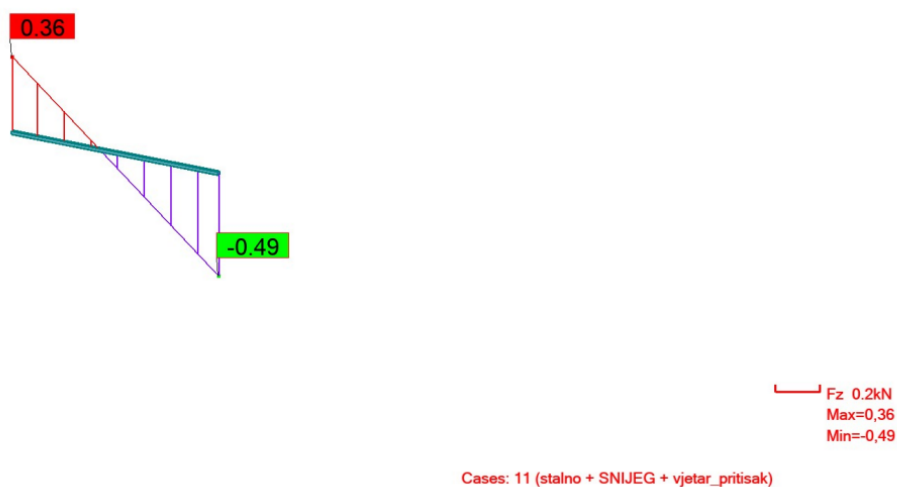
## 7.2. Dimenzioniranje sekundarnog nosača

Prikaz položaja kritičnog sekundarnog nosača na konstrukciji (Slika 34) te dijagram momenta savijanja (Slika 36) i poprečnih sila (Slika 35) na istome. Uzdužne sile na sekundarnom nosaču su malih iznosa stoga ih je moguće zanemariti u daljnjem proračunu.

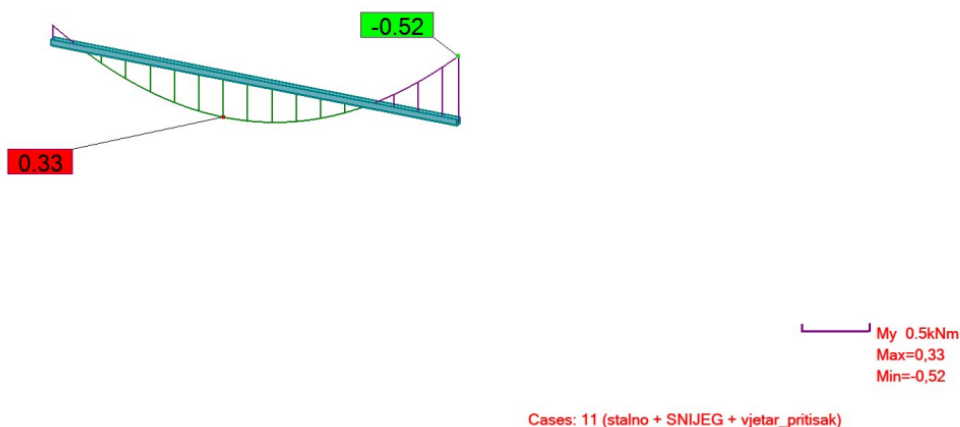
### 7.2.1. Granično stanje nosivosti (GSN)



Slika 42: Položaj kritičnih sekundarnih nosača na konstrukciji nadstrešnice [3]



Slika 43: Dijagram poprečnih sila na kritičnom sekundarnom nosaču konstrukcije nadstrešnice [3]



Slika 44: Dijagram momenta savijanja na kritičnom sekundarnom nosaču konstrukcije nadstrešnice [3]

Podaci o poprečnome presjeku (kvadratni profil 50x5 mm)

| TCAR 50x5 mm                         |       |
|--------------------------------------|-------|
| d [mm]                               | 50    |
| b <sub>f</sub> [mm]                  | 50    |
| t [mm]                               | 5     |
| A [cm <sup>2</sup> ]                 | 8,36  |
| r <sub>1</sub> [mm]                  | 5     |
| I <sub>ω</sub> [cm <sup>6</sup> ]    | 0,10  |
| I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]    | 27,0  |
| I <sub>t</sub> [cm <sup>4</sup> ]    | 47,5  |
| W <sub>pl,y</sub> [cm <sup>3</sup> ] | 13,70 |

Svojstva čelika (S275)

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| E [N/mm <sup>2</sup> ]              | 210 000 |
| G [N/mm <sup>2</sup> ]              | 81 000  |
| ν                                   | 0,3     |
| ρ [kg/m <sup>3</sup> ]              | 7850    |
| f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 275     |
| f <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 430     |

## 1. Dimenzioniranje na razini poprečnog presjeka

a) klasifikacija poprečnog presjeka

**HRBAT** – unutarnji element, izložen savijanju

Ravan dio I hrpta određuje se prema izrazu:

$$c = d = h - 3 * t_w = 50 - 3 * 5 = 35 \text{ mm}$$

gdje je:

$$h = 50 \text{ mm (visina profila)}$$

$$t = 5 \text{ mm (debljina pojasnice I)}$$

Uvjet za klasu 1:

Klasifikacija hrpta određuje se prema izrazu:

$$c/t \leq 72 \varepsilon$$

gdje je:

$$c = 35 \text{ mm (visina hrpta)}$$

$$t = 5 \text{ mm (debljina hrpta)}$$

$\varepsilon$  - izduženje čelika

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\frac{d}{t} \leq 72 * \varepsilon$$

$$\frac{35}{5} \leq 66,24$$

$$7,0 < 66,24$$

Hrbat je klasa 1.

**POJASNICA** – unutarnji element, gornja pojasnica izložena tlaku

$$d = h - 3 * t_w = 50 - 3 * 5 = 35 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu 1:

Klasifikacija hrpta određuje se prema izrazu:

$$c/t \leq 33 \varepsilon$$

gdje je:

$$c = 35 \text{ mm (širina pojasnice)}$$

$$t = 5 \text{ mm (debljina pojasnice)}$$

$\varepsilon$  - izduženje čelika

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\frac{d}{t} \leq 33 * \varepsilon$$

$$\frac{35}{5} \leq 30,36$$

$$7,0 < 30,36$$

Pojasnica je klasa 1.

Budući da su hrbat i pojasnica klasa 1, cijeli je presjek klase 1.



## PROVJERA OTPORNOSTI

- otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje  $M_{c,Rd}$  određuje se prema izrazu:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{13,70 * 27,5}{1,0} = 376,75 \text{ kNcm} = 3,77 \text{ kNm}$$

### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$0,52 \text{ kNm} \leq 3,77 \text{ kNm}$$

gdje je:

$W_{pl,y} = 13,70 \text{ cm}^3$  (plastični moment otpora u y smjeru)

$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$  (granica popuštanja čelika)

$\gamma_{M0} = 1,0$  (parcijalni faktor sigurnosti)

$M_{y,Ed} = 0,52 \text{ kNm}$  (proračunski moment savijanja sekundarnog nosača)

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,52}{3,77} = 0,14 < 1 \approx 14\%$$

- otpornost poprečnog presjeka na posmik

Provjera izbočivanja hrpta određuje se prema izrazu:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \frac{\epsilon}{\mu}$$

$$\frac{h - 2 * t}{t} \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{50 - 2 * 5}{5} \leq 72 * \frac{0,92}{1,2}$$

8,0 < 55,2 Nema izbočivanja hrpta.

gdje je:

$h_w = 4,0$  cm (visina hrpta između pojasnica)

$t = 5$  mm (debljina hrpta i pojasnice)

$\eta = 1,2$  (faktor posmične površine)

$\varepsilon = 0,92$  (izduženje čelika)

Posmična otpornost poprečnog presjeka  $V_{pl,Rd}$  određuje se prema izrazu:

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

Posmična površina određuje se prema izrazu:

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

$$A_{v,z} = 8,36 - 2 * 5,0 * 0,5 + (0,5 + 2 * 0,5) * 0,5 \geq 1,2 * 4,0 * 0,5$$

$$A_{v,z} = 4,11 \text{ cm}^2 > 2,4 \text{ cm}^2$$

gdje je:

$A = 8,36$  cm<sup>2</sup> (površina poprečnog presjeka)

$b = 5,0$  cm (širina profila)

$t = 0,5$  cm (debljina hrpta I pojasnice)

$r = 0,5$  cm (polumjer valjanoga dijela između pojasnica i hrpta)

$\eta = 1,2$  (faktor posmične površine)

$h_w = 4,0$  cm (visina hrpta između pojasnica)

$$V_{pl,Rd} = 4,11 * \frac{27,5}{\sqrt{3}} * \frac{1}{1,0} = 65,26 \text{ kN}$$

gdje je:

$A_v = 6,59 \text{ cm}^2$  (posmična površina poprečnog presjeka)

$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$  (granica popuštanja čelika)

$\gamma_{M0} = 1,0$  (parcijalni faktor sigurnosti)

#### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$0,49 \text{ kN} \leq 12,56 \text{ kN}$$

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{0,49}{65,26} \approx 0,75\%$$

- interakcija savijanja i posmika (M-V)

Provjera razine poprečne sile

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

$$0,49 \text{ kN} < 32,63 \text{ kN} \quad \text{Nema redukcije plastične otpornosti na savijanje.}$$

gdje je:

$V_{z,Ed} = 0,49 \text{ kN}$  (proračunska poprečna sila)

$V_{pl,Rd} = 65,26 \text{ kN}$  (proračunska otpornost na poprečnu silu)

#### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$0,52 \text{ kNm} < 3,22 \text{ kNm}$$

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{M_{y,Ed}}{M_{V,y,Rd}} = \frac{0,52}{3,77} = 0,14 < 1 \approx 14\%$$

## 2. Dimenzioniranje na razini elementa

- bočno-torzijsko izvijanje

Faktori potrebni za izračun kritičnog momenta bočno – torzijskog izvijanja:  $C_1 = 2,57$  i  $C_2 = 1,55$

Razmak između točaka bočnih pridržanja:  $L = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$

U slučajevima kada poprečni presjeci na krajevima slobodno rotiraju i kada se mogu slobodno kriviti:  $k = k_w = 1,0$

Razmak između centra posmika i točke u kojoj djeluje opterećenje:  $z_g = \frac{h}{2} = 25 \text{ mm}$

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

Elastični kritični moment bočno-torzijskog izvijanja  $M_{cr}$  određuje se prema izrazu:

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L)^2} \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right]$$
$$M_{cr} = 2,57 * \frac{\pi^2 * 21000 * 27}{(1,0 * 600)^2} \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \frac{100}{27} + \frac{(1,0 * 600)^2 * 8077 * 47,5}{\pi^2 * 21000 * 27} + (1,55 * 2,5)^2} - 1,55 * 2,5 \right]$$
$$M_{cr} = 39,95 * \left[ \sqrt{3,7 + 24681,04 + 15,02} - 3,88 \right]$$
$$M_{cr} = 6123,59 \text{ kNcm}$$

gdje je:

$C_1 = 2,57$  (faktor za izračun kritičnog momenta bočno- torzijskog izvijanja)

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

$I_z = 149,0 \text{ cm}^4$  (moment inercije u z smjeru)

$L = 600 \text{ cm}$  (razmak točaka bočnog pridržanja)

$k, k_w = 1,0$  (faktori krivljenja)

$I_\omega = 1,17 \text{ cm}^6$  (konstanta krivljenja)

$G = 8077 \text{ kN/cm}^2$  (modul posmika)

$I_t = 252,0 \text{ cm}^3$  (torzijska konstanta)

$C_2 = 1,55$  (faktor za izračun kritičnog momenta bočno-torzijskog izvijanja)

$z_g = 4 \text{ cm}$  (razmak između centra posmika i točke djelovanja opterećenja)

Bezdimenzionalna vitkost elementa  $\lambda_{LT}$  određuje se prema izrazu:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{13,70 * 27,5}{6123,59}} = 0,25$$

gdje je:

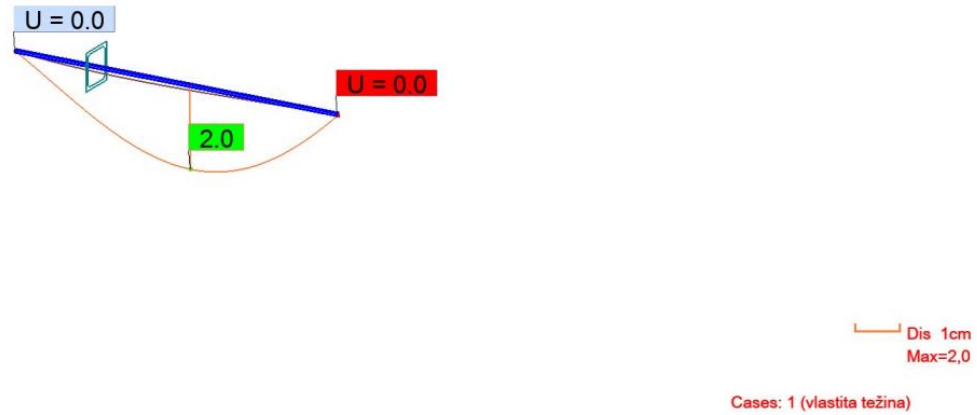
$W_{pl,y} = 13,70 \text{ cm}^3$  (moment otpora u y smjeru)

$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$  (granica popuštanja čelika)

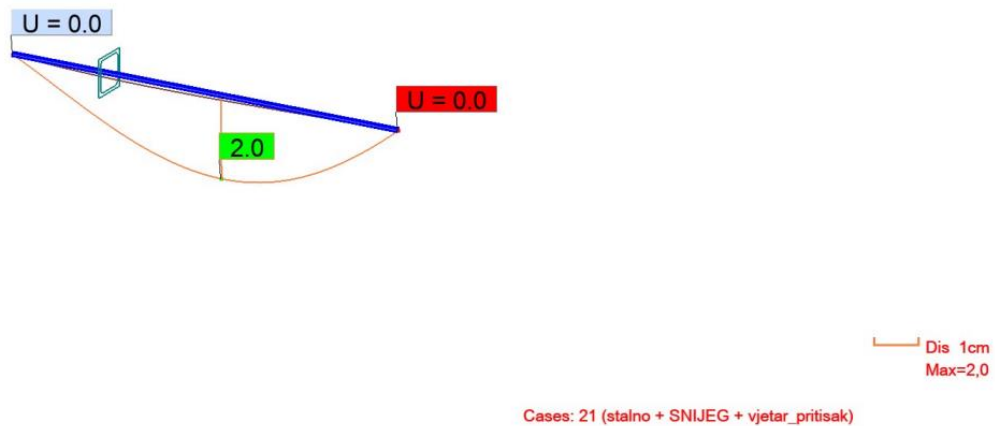
$M_{cr} = 6123,59 \text{ kNm}$  (elastični kritični moment bočno-torzijskog izvijanja)

Ako je vitkost  $\lambda_{LT}$  manja od 0,4, to su zdepasti nosači bez utjecaja bočno-torzijskog izvijanja pa se ne treba raditi proračun nosivosti elementa na bočno-torzijsko izvijanje.

### 7.2.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU)



Slika 45. Pomak od vlastite težine [3]



Slika 46. Pomak od kritične kombinacije [3]

Najveći dopušteni progib za dano opterećenje mora biti manji ili jednaki  $L/250$  za sekundarni nosač. Vertikalni progib na sredini raspona iznosi 0,9 cm od djelovanja vlastite težine, a od djelovanja kritične kombinacije, progib na sredini raspona sekundarnog nosača, također, iznosi 0,9 cm.

Provjera vertikalnog progiba nosača na sredini raspona od djelovanja vlastite težine:

$$\delta = 2,0\text{cm} = 20\text{ mm}$$

$$\delta_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{600}{200} = 3,0\text{ cm} = 30\text{ mm}$$

$$\delta < \delta_{dop}$$

$$20\text{ mm} < 30\text{ mm}$$

Progib je zadovoljen!

Provjera vertikalnog progiba nosača na sredini raspona od djelovanja kritične kombinacije:

$$\delta = 2,0\text{ cm} = 20\text{ mm}$$

$$\delta_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{600}{200} = 3,0\text{ cm} = 30\text{ mm}$$

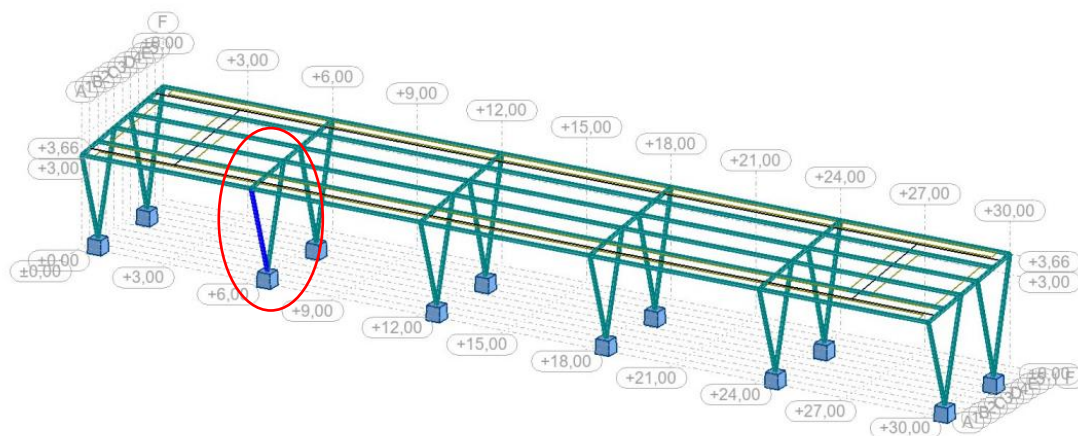
$$\delta < \delta_{dop}$$

$$20\text{ mm} < 30\text{ mm}$$

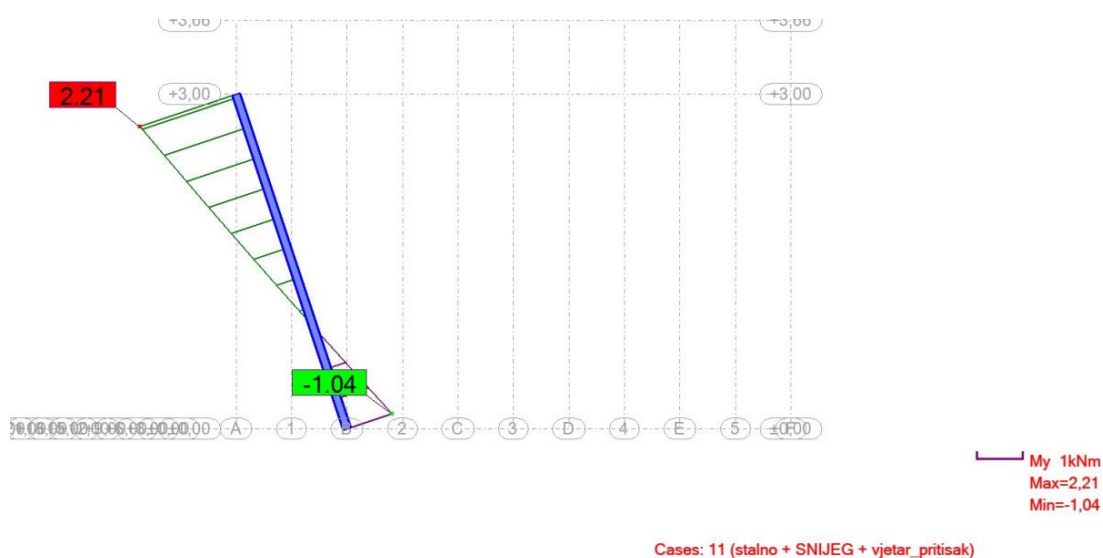
Progib je zadovoljen!

## 7.3. Dimenzioniranje stupa

### 7.3.1. Granično stanje nosivosti (GSN)

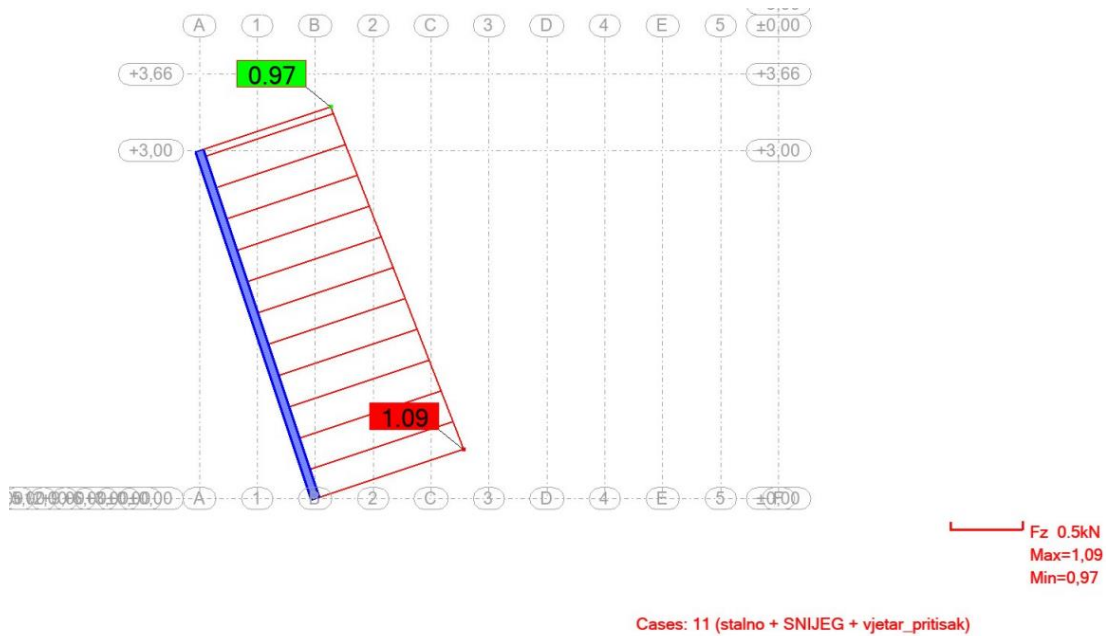


Slika 47. Prikaz kritičnog stupa na konstrukciji nadstrešnice [3]

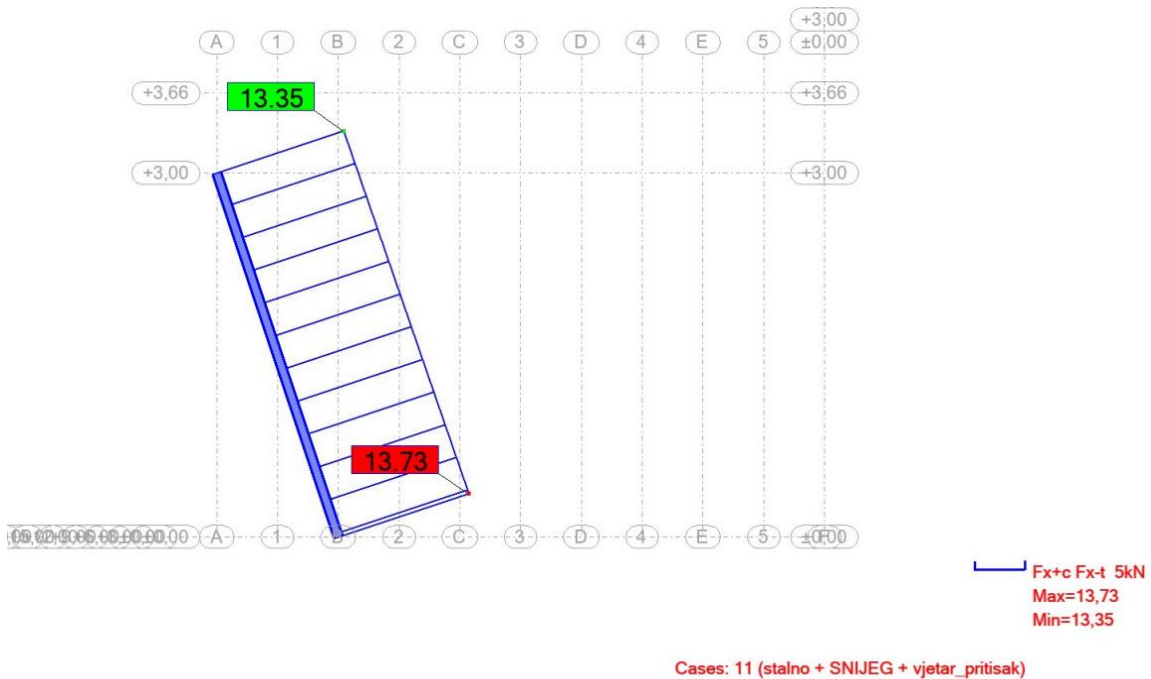


Slika 48. Dijagram momenta savijanja na kritičnom stupu konstrukcije nadstrešnice [3]





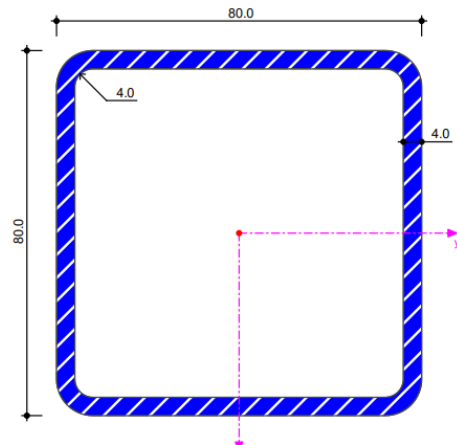
Slika 49. Dijagram poprečnih sila na kritičnom stupu konstrukcije nadstrešnice [3]



Slika 50. Dijagram uzdužnih sila na kritičnom stupu konstrukcije nadstrešnice [3]

Podaci o poprečnome presjeku (kvadratni profil 80x4 mm)

| TCAR 80x4 mm                         |       |
|--------------------------------------|-------|
| h [mm]                               | 80    |
| b [mm]                               | 80    |
| t [mm]                               | 4     |
| A [mm <sup>2</sup> ]                 | 11,75 |
| r <sub>i</sub> [mm]                  | 4     |
| I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]    | 111,0 |
| I <sub>t</sub> [cm <sup>4</sup> ]    | 180,0 |
| W <sub>pl,y</sub> [cm <sup>3</sup> ] | 33,10 |
| I <sub>ω</sub> [cm <sup>6</sup> ]    | 0,54  |



Svojstva čelika (S275)

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| E [N/mm <sup>2</sup> ]              | 210 000 |
| G [N/mm <sup>2</sup> ]              | 81 000  |
| v                                   | 0,3     |
| ρ [kg/m <sup>3</sup> ]              | 7850    |
| f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 275     |
| f <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 430     |

## 1. Dimenzioniranje na razini poprečnog presjeka

### a) klasifikacija poprečnog presjeka

Za poprečni profil stupa odabran je valjani kvadratni profil TCAR 80x4 mm, klase čelika S275.

Klasifikacija poprečnog presjeka se ne provodi za vlačne elemente, presjek je odmah klasa 1.

## PROVJERA OTPORNOSTI

Kod provjere otpornosti poprečnoga presjeka, provodi se samo provjera bruto poprečnog presjeka jer je stup zavarima spojena na temelj, kao i na glavni nosač. Dakle, provjera otpornosti neto poprečnog presjeka se ne provodi.

- otpornost bruto poprečnog presjeka

Otpornost neto poprečnog presjeka za klasu 1 određuje se prema izrazu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{11,75 * 27,5}{1,0} = 323,13 \text{ kN}$$

### UVJET NOSIVOSTI:

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

$$13,73 \text{ kN} \leq 323,13 \text{ kN}$$

$$\text{Iskorištenost poprečnog presjeka: } \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{13,73}{323,13} = 0,04 < 1 \approx 4 \%$$

gdje je:

$N_{Ed} = 13,73 \text{ kN}$  (proračunska uzdužna sila)

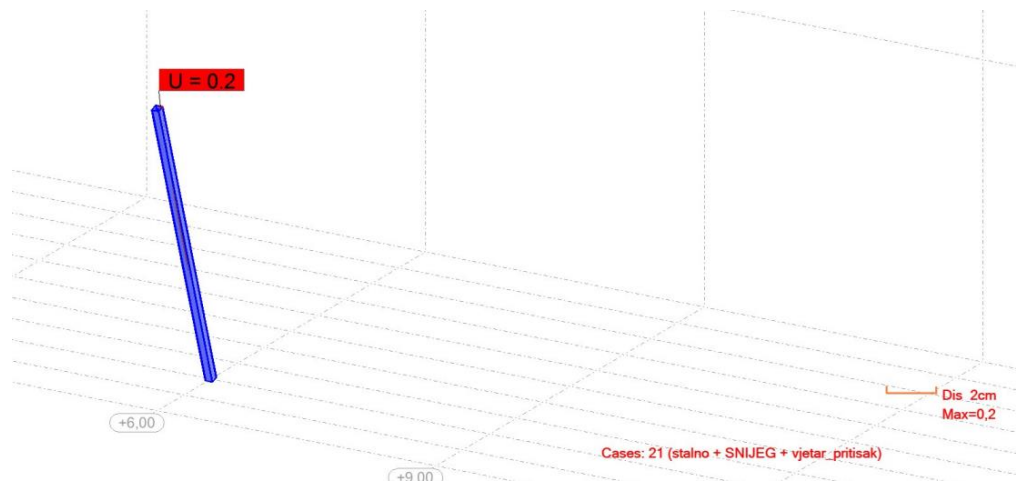
$N_{pl,Rd} = 323,13 \text{ kN}$  (proračunska otpornost poprečnog presjeka)

$A = 11,75 \text{ cm}^2$  (površina poprečnog presjeka)

$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$  (granica popuštanja čelika)

$\gamma_{M0} = 1,0$  (parcijalni koeficijent sigurnosti)

### 7.3.2. Granično stanje uporabljivosti (GSU)



Slika 51. Pomak stupa [3]

Najveći dopušteni pomak stupa za dano opterećenje mora biti manji ili jednak  $H/150$ . Horizontalni pomak stupa iznosi 0,2 cm.

Provjera horizontalnog progiba  $V$  stupa od djelovanja kritične kombinacije:

$$\delta = 0,2 \text{ cm} = 2 \text{ mm}$$

$$\delta_{dop} = \frac{L}{200} = \frac{316}{150} = 2,11 \text{ cm} = 21,07 \text{ mm}$$

$$\delta < \delta_{dop}$$

$$2 \text{ mm} < 21,07 \text{ mm}$$

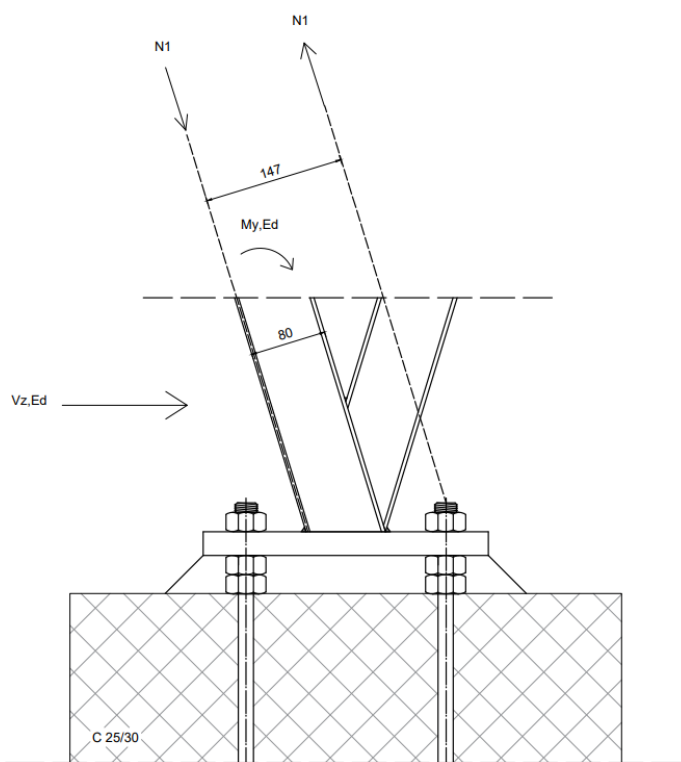
Progib je zadovoljen!

## 8. PRORAČUN PRIKLJUČAKA NADSTREŠNICE

### 8.1. Proračun spoja kvadratnog stupa na betonski temelj

Stup u spoju kvadratnog je poprečnog presjeka 80x80x4. Vijci u spoju opterećeni su na vlak i na posmik. U spoju se nalaze 4 vijka M16 k.v. 4.6. Debljina ležajne ploče  $t_p = 25$  mm, dok debljina zavora iznosi  $a = 4$  mm.

Moment savijanja  $M_{y,Ed}$  djeluje kao spreg sila  $N_1$  na kraku  $x_1$ . Jedan krak sile djeluje vlačno na dva vijka, a drugi krak djeluje tlačno po osi pojasnice.



Slika 52. Djelovanje na vijke [2]

Krak  $x_1$  određuje se:

$$x_1 = 149 - \frac{4}{2} = 147 \text{ mm}$$

Iz čega slijedi:

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{1,04}{0,147} = 7,07 \text{ kN}$$

### 8.1.1. Otpornost vijka na posmik (odrez)

Otpornost za 1 vijak i 1 reznu površinu određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

$\alpha_v = 0,6$  za kvalitetu vijka 4.6

$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$  iz oznake za kvalitetu vijka 4.6

$A = A_s = 157 \text{ mm}^2$  (površina jezgre vijka)

$\gamma_{M2} = 1,25$  (parcijalni koeficijent sigurnosti za priključke)

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * 40 * 1,57}{1,25} = 30,14 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka u spoju  $F_{v,Rd}$  određuje se prema izrazu::

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

$$\overline{F_{v,Rd}} = 4 * 1 * 30,14 = 120,58 \text{ kN}$$

gdje je:

$n = 4$  (broj vijaka)

$m = 1$  (broj reznih površina)

$F_{v,Rd}$  = (otpornost za 1 vijak i 1 reznu površinu)

### UVJET NOSIVOSTI SPOJA:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}}$$

$$13,73 \text{ kN} < 120,58 \text{ kN} \approx 11\%$$

#### **8.1.2. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala**

Otpornost za 1 rupu određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) - \text{za krajnje vijke}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{45}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(5,3; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0} * \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) - \text{za krajnje vijke}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{45}{3 * 18} * \frac{400}{430}; 1\right) = \min(0,83; 0,93; 1) = 0,83$$

gdje je:

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

$$d = 16 \text{ mm (promjer vijka)}$$

$$t = 25 \text{ mm (najtanji lim u spoju)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (parcijalni koeficijent sigurnosti za priključke)}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * 0,83 * 43 * 1,6 * 2,5}{\gamma_{M2}} = 285,52 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost:

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

$$\overline{F_{b,Rd}} = 4 * 285,52 = 1142,08 \text{ kN}$$

#### UVJET NOSIVOSTI SPOJA:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{t,Rd}}$$

$$13,73 \text{ kN} < 1142,08 \text{ kN} \approx 1,2 \%$$

#### **8.1.3. Otpornost vijka na vlak**

Otpornost 1 vlačnog vijka određuje se prema izrazu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

gdje je:

$$k_2 = 0,9 \text{ (za vijke bez upuštene glave)}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \text{ iz oznake za kvalitetu vijka 4.6}$$

$$A = A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (površina jezgre vijka)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (parcijalni koeficijent sigurnosti za priključke)}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,9 * 40 * 1,57}{1,25} = 45,22 \text{ kN}$$

Otpornost za 2 vlačna vijka u spoju:

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

$$\overline{F_{t,Rd}} = 2 * 45,22 = 90,43 \text{ kN}$$

#### UVJET NOSIVOSTI SPOJA:

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



$$7,07 \text{ kN} < 90,43 \text{ kN} \approx 8\%$$

#### **8.1.4. Interakcija posmika i vlaka**

Interakcija za 1 vijak određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

$$F_{v,Ed} = V_{z,Ed}/4 = 1,09/4 = 0,27 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 30,14 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = N_1/2 = 7,07/2 = 3,54 \text{ kN}$$

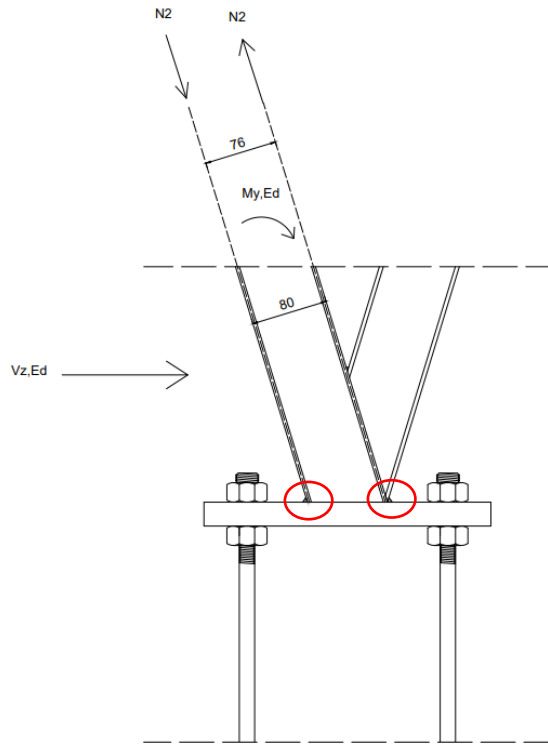
$$F_{t,Rd} = 45,22 \text{ kN}$$

$$\frac{0,27}{30,14} + \frac{3,54}{1,4 * 45,22} \leq 1$$

$$0,06 < 1 \approx 6\%$$

#### **8.1.5. Proračun zavarenog spoja**

Usljed djelovanja poprečne sile svi su zavari opterećeni, a uslijed djelovanja momenta savijanja u obzir uzimamo samo zavare koji su vlačno opterećeni stoga računamo komponentu  $N_2$  na kraku  $x_2$ .



Slika 53. Djelovanje na zavar [2]

Krak  $x_2$  određuje se prema izrazu:

$$x_2 = 80 - \frac{4}{2} - \frac{4}{2} = 76 \text{ mm}$$

Iz čega slijedi:

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{1,04}{0,076} = 13,68 \text{ kN}$$

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

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{1,09}{2}\right)^2 + 13,68^2} = 13,68 \text{ kN}$$

Otpornost 1 centimetra zavora određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

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

$$a = 4 \text{ mm (debljina zavora)}$$

$$\beta_w = 0,85 \text{ (korelacijski koeficijent za čelik S275)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (parcijalni koeficijent sigurnosti za priključke)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3} * 0,85} * 0,4}{1,25} = 9,35$$

Ukupna otpornost zavora:

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} * \sum L$$

gdje je:

$$\sum L = 2 * 83,66 + 2 * 80 = 327,32 \text{ mm (ukupna duljina zavora)}$$

$$\overline{F_{w,Rd}} = 9,35 * 32,73 = 306,04 \text{ kN}$$

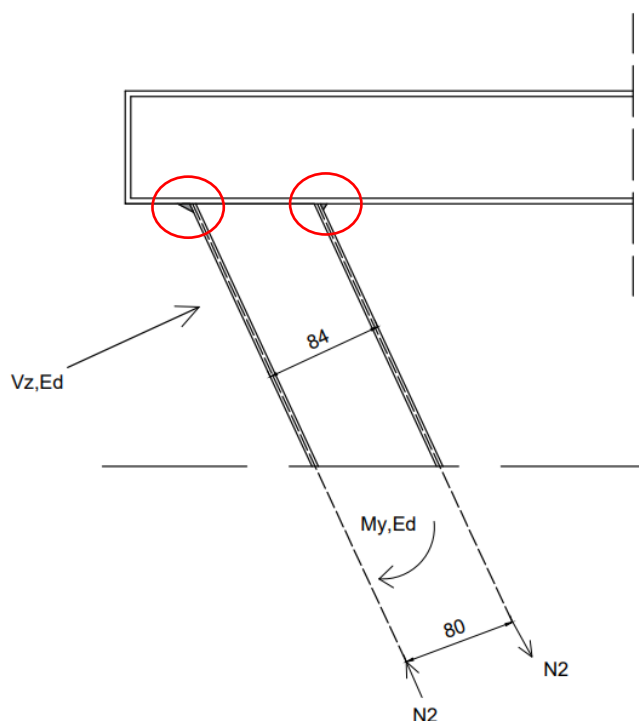
UVJET NOSIVOSTI ZAVARA:

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

$$13,68 \text{ kN} < 306,04 \text{ kN} \approx 4,47\%$$

## 8.2. Proračun spoja glavnog nosača na stup

Stup u spoju kvadratnog je poprečnog presjeka 80x80x4,0 mm, a nosač u spoju izveden je, također, od kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 80x80x4 mm. Budući da su oba elementa kvadratnog poprečnog profila, spoj se izvodi samo zavarivanjem elemenata. Debljina zavora iznosi  $a = 4$  mm.



Slika 54. Djelovanje na zavar [2]

### 8.2.1. Proračun zavarenog spoja

Usljed djelovanja poprečne sile svi su zavori opterećeni, a uslijed djelovanja momenta savijanja u obzir uzimamo samo zavoru koji su vlačno opterećeni stoga računamo komponentu  $N_2$  na kraku  $x_2$ .

Krak  $x_2$  određuje se prema izrazu:

$$x_2 = 84 - \frac{4}{2} - \frac{4}{2} = 80 \text{ mm}$$

Iz čega slijedi:

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{2,21}{0,08} = 27,63 \text{ kN}$$

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

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{0,97}{2}\right)^2 + 27,63^2} = 27,63 \text{ kN}$$

Otpornost 1 centimetra zavora određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

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

$$a = 4 \text{ mm (debljina zavora)}$$

$$\beta_w = 0,85 \text{ (korelacijski koeficijent za čelik S275)}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ (parcijalni koeficijent sigurnosti za priključke)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3}} * 0,85}{1,25} * 0,4 = 11,68 \text{ kN}$$

Ukupna otpornost zavora:

$$\overline{F}_{w,Rd} = F_{w,Rd} * \sum L = 11,68 * 16 = 186,88 \text{ kN}$$

gdje je:

$$\sum L = 160 \text{ mm} = 16 \text{ cm (ukupna duljina zavora)}$$

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} * \sum L$$

UVJET NOSIVOSTI ZAVARA:

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

$$27,63 \text{ kN} < 168,88 \text{ kN} \approx 16\%$$

Zavar je zadovoljio nosivost.

## 9. ZAKLJUČAK

U radu je proveden proračun čelične konstrukcije nadstrešnice za vozila sa solarnim panelima. Nadstrešnica je osmišljena da pruži zaštitu od atmosferskih utjecaja deset vozila te je, isto tako, osmišljena zbog nedostatka parkirnih mjesta na području Sveučilišta u Rijeci, točnije na Kampusu. Provedena je analiza djelovanja, u kojoj su definirana stalna djelovanja od vlastite težine konstrukcije te solarnih panela, kao i promjenjiva djelovanja snijega i vjetra. Konstrukcija nadstrešnice modelirana je u programu Robot Structural Analysis Professional u kojem je proveden i statički proračun iste. Temeljem statičkog proračuna, provedeno je dimenzioniranje kritičnih glavnih elemenata konstrukcije: glavnog i sekundarnog nosača te stupa. Dimenzioniranje je provedeno za granično stanje nosivosti, kao i uporabljivosti. Odabrano je da su svi elementi kvadratnog poprečnog presjeka; glavni nosači i stupovi istih poprečnih presjek (80x80x4 mm) zbog jednostavnosti izvedbe, dok su sekundarni nosači kvadratnog poprečnog presjeka 50x50x5 mm. Njihova je iskorištenost mala, no s obzirom na njihov raspon, to je bio jedino optimalno rješenje. Postotak iskorištenosti stupova, također, je mali, no zbog jednostavnosti izvedbe i povezivanja glavnog nosača na nj (estetičan izgled), odlučeno je da dimenzije tih elemenata budu iste.

Također, proračunati su detalji spajanja glavnog nosača na stup te stupa na temelj. Proračun je proveden za vijke i zavare. Glavni je nosač na stup spojen zavarima, a stup na temeljnu ploču vijcima u kombinaciji sa zavarima. Zamisljeno je da se cijeli glavni nosivi sustav s V stupovima zavari u radioni te da se kao takav dopremi na gradilište. Na gradilištu bi se isti spojio vijcima na temeljne ploče.

## 10. LITERATURA

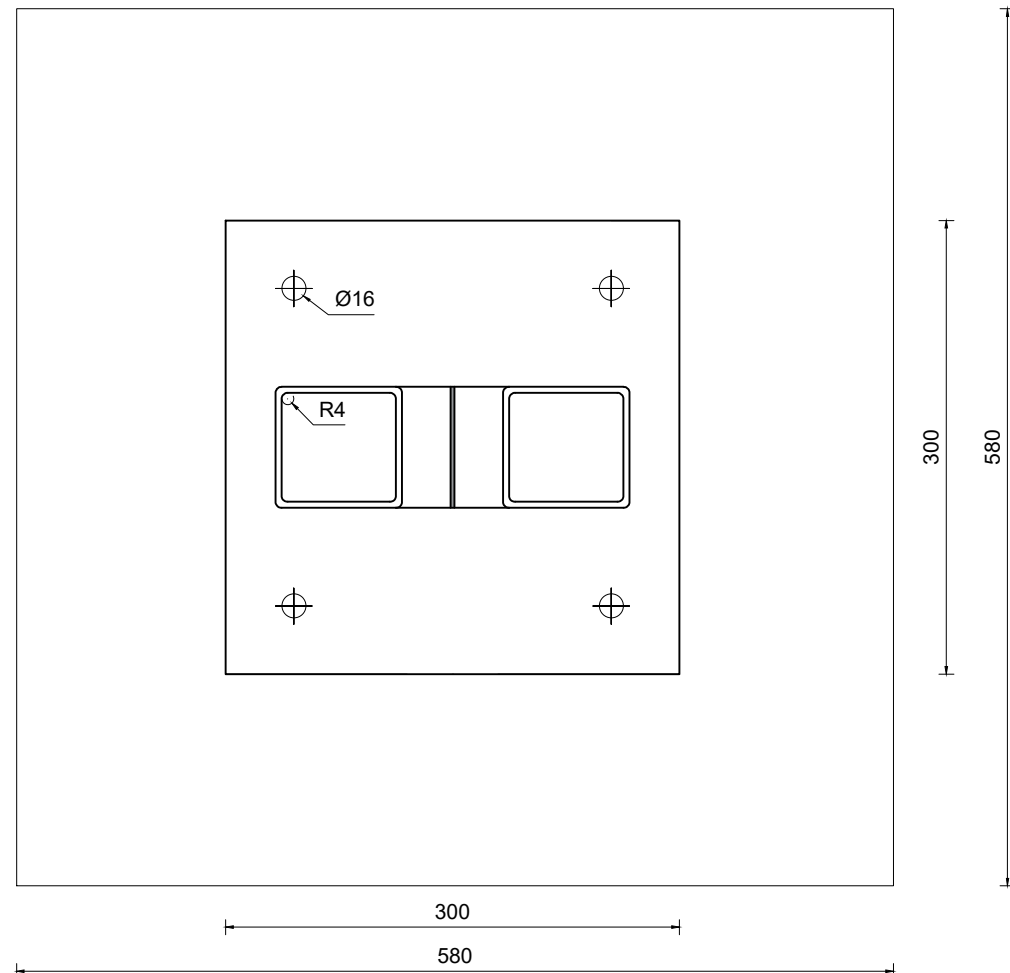
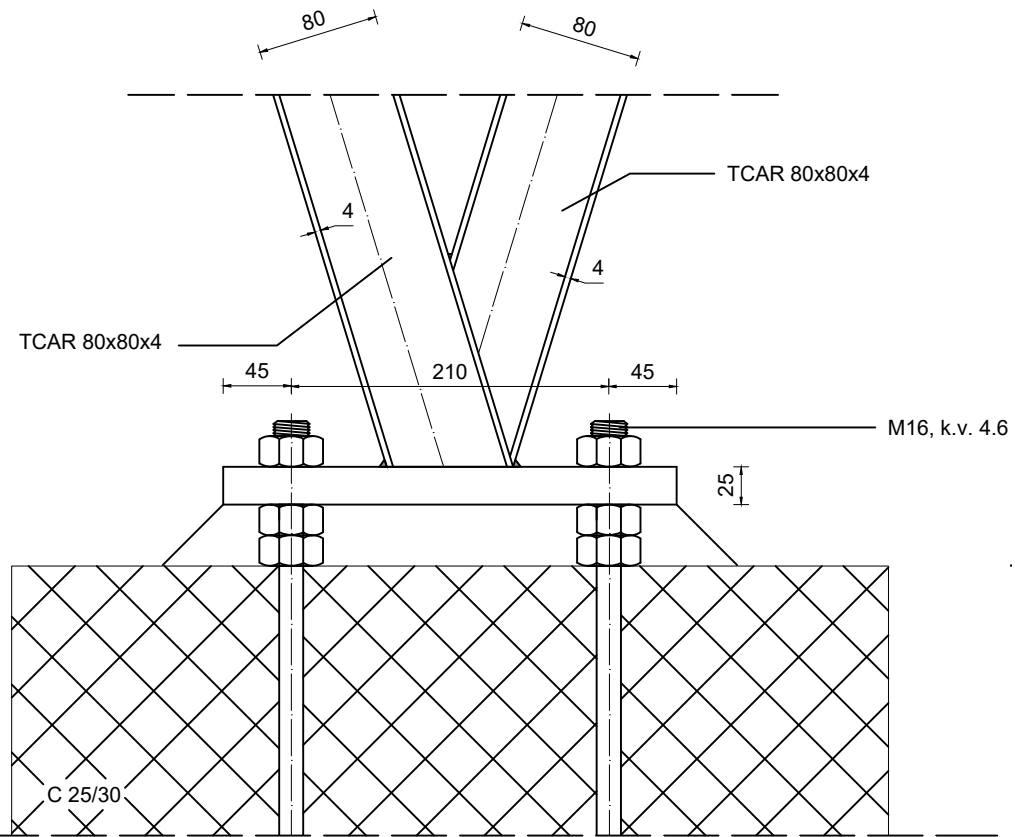
- [1] Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima, NN 153/13 (NN 20/17) [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_11\\_112\\_2625.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_11_112_2625.html) (22.7.2023.)
- [2] AutoCAD 2018, Software for 2D and 3D CAD, Autodesk, student version, [Autodesk AutoCAD 2024 | Get Prices & Subscribe To AutoCAD Software](#) (22.7.2023.)
- [3] Robot Structural Analysis Professional 2022, BIM structural analysis software for engineers, Autodesk, student version, [Robot Structural Analysis Professional | Download & Pricing \(autodesk.com\)](#) (22.7.2023.)
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] nHRN\_EN\_1990\_NA\_2011 Eurocod 1: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [8] Krolo P., Materijali s predavanja, Čelične konstrukcije, Građevinski fakultet u Rijeci, 2022.
- [9] Androić, B., Dujmović, D., Čelične konstrukcije – Dio 1., I.A. Projektiranje, Zagreb, 2021.
- [10] Androić, B., Dujmović, D., Čelične konstrukcije - Dio 2., I.A. Projektiranje, Zagreb, 2021.
- [11] <https://www.auto-nadstresnice.hr/nadstresnice-za-automobile-na-cetiri-stupa.html> (23.6.2023.)
- [12] <https://www.auto-nadstresnice.hr/konzolne-nadstresnice.html> (13.8.2023.)
- [13] <https://webgradnja.hr/clanci/uzivajte-na-otvorenom-uz-gutta-nadstresnice-za-terase/3835> (13.8.2023.)
- [14] <https://www.auto-nadstresnice.hr/katalogi-nadstresnica.html> (23.6.2023.)
- [15] <https://stolarija-gavrilovic.com/blog/drvena-nadstre-niza-za-automobil> (23.6.2023.)



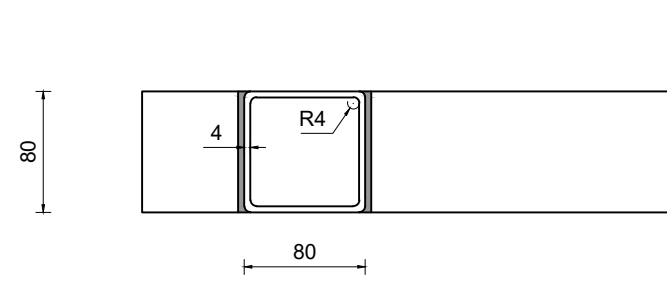
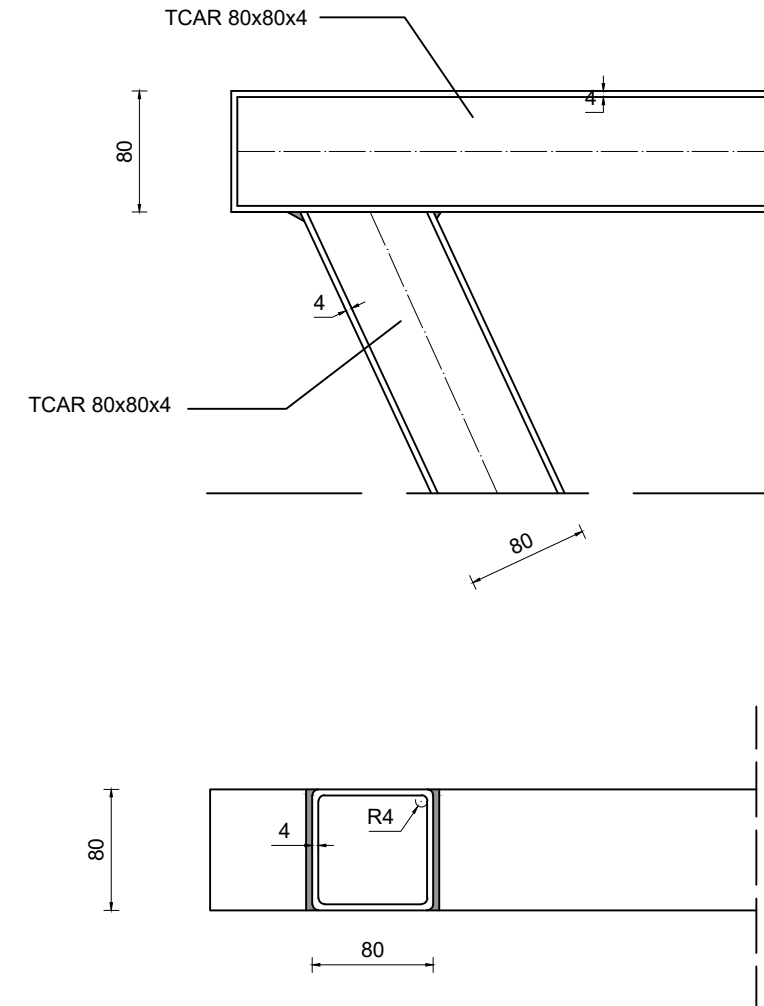
- [16] <https://strojo-metal.com/nadstresnice/> (23.6.2023.)
- [17] <https://euhonka.com/portfolio-view/satorasta-nadstresnica-2/> (23.6.2023.)
- [18] <https://sib.net.hr/vijesti/osijek/3994722/krece-velika-obnova-zeljeznickog-kolodvora-u-osijeku-pogledajte-kako-ce-izgledati/> (23.6.2023.)
- [19] <https://solvis.hr/proizvodi/monokristalni-moduli/sv60-e/> (22.8.2023.)
- [20] Krolo P., Preliminarni zadatak za završni rad, Građevinski fakultet u Rijeci, 2023.


## **11. NACRTI**

# DETALJ SPOJA STUPA NA TEMELJ MJ 1:10



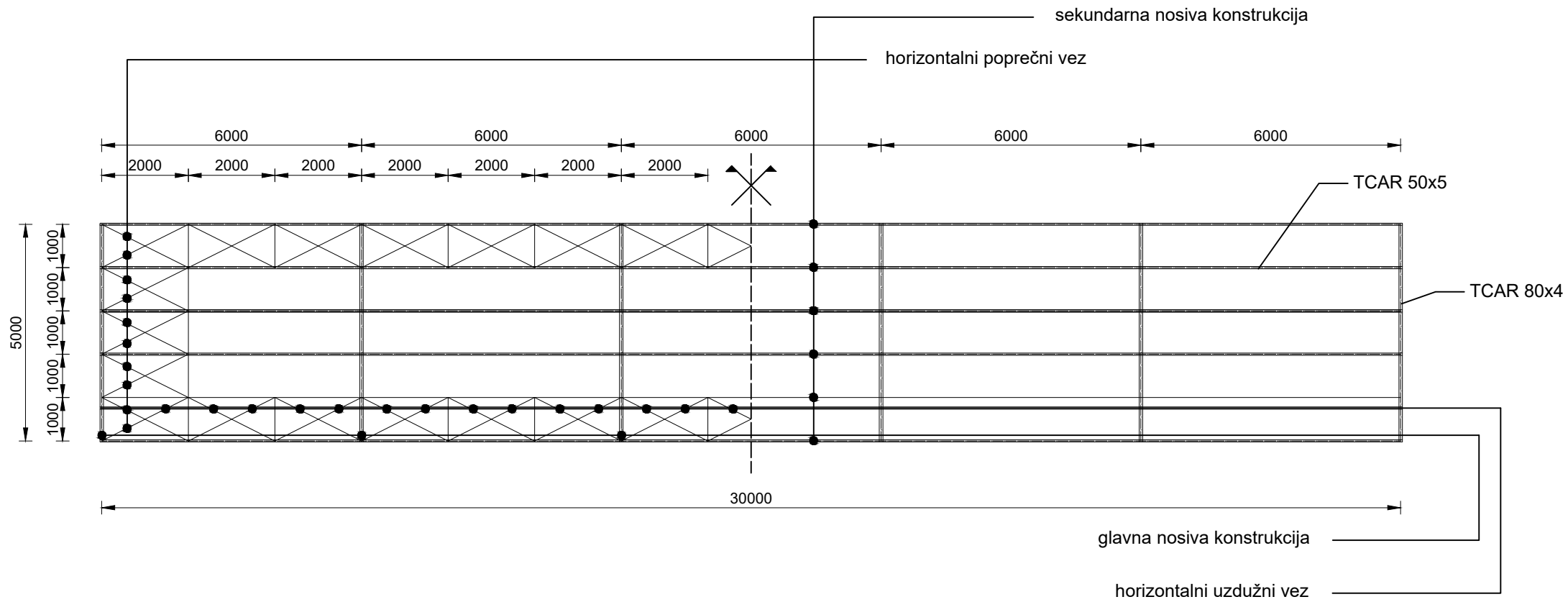
# DETALJ SPOJA GLAVNOG NOSAČA NA STUP MJ 1:10



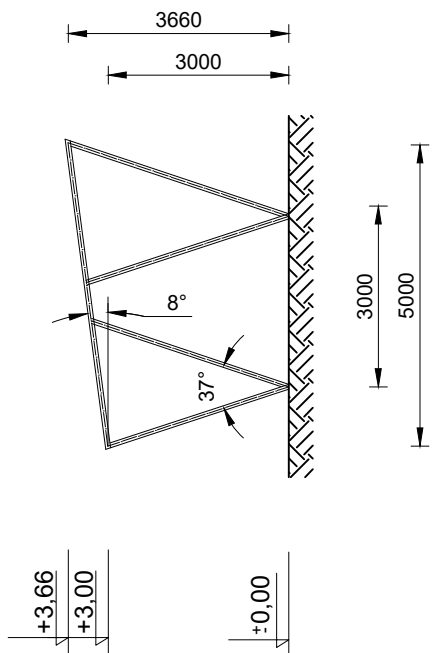
|   |                 |  |          |
|---|-----------------|--|----------|
|  <b>GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b> |                 |  |          |
| Završni rad:  |                 | Sadržaj nacрта:                                |          |
| <b>NADSTREŠNICA ZA VOZILA<br/>SA SOLARNIM PANELIMA</b>  |                 | <b>KARAKTERISTIČNI DETALJI<br/>PRIKLJUČAKA</b> |          |
| Student:  |                 | Kolegij:                                       |          |
| <b>MERI ZBAŠNIK</b>   |                 | <b>ČELIČNE KONSTRUKCIJE</b>                    |          |
| Mentor:   | Datum:          | Mjerilo:                                       | List:    |
| <b>doc.dr.sc. Paulina Krolo</b>   | <b>IX 2023.</b> | <b>1:10</b>                                    | <b>1</b> |

# DISPOZICIJA ČELIČNE NADSTREŠNICE MJ 1:200

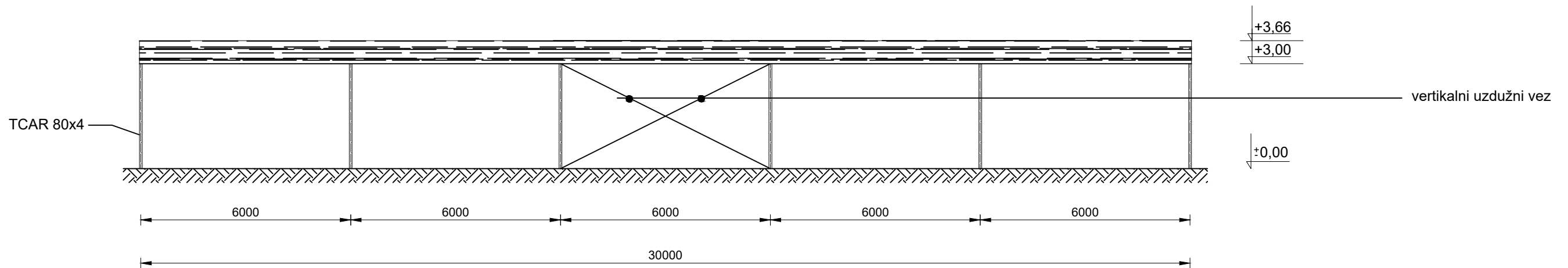
TLOCRT



POGLED NA ZABAT



UZDUŽNI POGLED



|   |          |                                       |       |
|---|----------|---------------------------------------|-------|
| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI  |          |                                       |       |
| Završni rad:                                |          | Sadržaj nacрта:                       |       |
| NADSTREŠNICA ZA VOZILA SA SOLARNIM PANELIMA |          | DISPOZICIJA KONSTRUKCIJE NADSTREŠNICE |       |
| Student:                                    |          | Kolegij:                              |       |
| MERI ZBAŠNIK                                |          | ČELIČNE KONSTRUKCIJE                  |       |
| Mentor:                                     | Datum:   | Mjerilo:                              | List: |
| doc.dr.sc. Paulina Krolo                    | IX 2023. | 1:200                                 | 2     |