

Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima

Antolović, Vanesa

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:549441>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Vanesa Antolović

PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE KONZOLNE NADSTREŠNICE S REŠETKASTIM
NOSAČIMA

Završni rad

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij
Osnove čeličnih konstrukcija

Vanesa Antolović

0114033780

PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE KONZOLNE NADSTREŠNICE S REŠETKASTIM
NOSAČIMA

Završni rad

Rijeka, rujan 2022.

Rijeka, 1. rujna 2022.

Zavod: **Zavod za nosive konstrukcije i tehničku mehaniku**
Predmet: **Osnove čeličnih konstrukcija**
Grana: **2.05.02 nosive konstrukcije**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 20

Pristupnik: **Vanesa Antolović (0114033780)**
Studij: **Građevinarstvo**

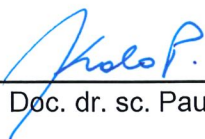
Zadatak: **Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima**

Opis zadatka:

Dati prijedlog čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima za natkrivanje desetak autobusnih parkirnih mjesta s pokrovom od solarnih panela. Analizirati djelovanja na konstrukciju prema lokaciji građevine koristeći se svim važećim propisima za djelovanja. Modelirati konstrukciju u programu Robot Structural Analysis, te provesti statički proračun. Dimenzionirati karakteristične elemente konstrukcije (stup, glavni i sekundarni nosač) za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabivosti koristeći se propisima za projektiranje čeličnih konstrukcija. Riješiti detalj spajanja stupa na betonski temelj, detalj spajanja glavnog nosača na stup te provjeriti vijke i zavare. Izraditi nacrt dispozicije te nacрте karakterističnih detalja spajanja.

Zadatak uručen pristupniku: 28. ožujka 2022.
Rok za predaju rada: 6. rujna 2022.

Mentor:



Doc. dr. sc. Paulina Krolo

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.

Vanesa Antolović

U Rijeci 6. rujna 2022.

SAŽETAK:

Tema ovog završnog rada je proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s glavnim nosačima u rešetkastoj izvedbi. Pokrov nadstrešnice izveden je od sendvič panela na koje su pričvršćeni solarni paneli. Provedena je analiza stalnih djelovanja, te djelovanja vjetra i snijega. Definirane su kombinacije djelovanja za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Statički proračuni provedeni su primjenom programa Robot Structural Analysis Professional 2023. Na temelju dobivenih unutarnjih sila, provedeno je dimenzioniranje podrožnice, stupa i elemenata rešetkastog nosača. Proračunat je karakterističan spoj stupa na betonski temelj i spoj gornjeg pojasa rešetkastog nosača na stup.

KLJUČNE RIJEČI: čelična konstrukcija, nadstrešnica, solarni paneli, granično stanje nosivosti, granično stanje uporabljivosti

ABSTRACT:

The subject of this bachelor thesis is design calculation of the steel structure of the cantilevered canopy roof with the truss beam. A canopy roof is covered with sandwich panels, while solar panels are placed on top. Dead loads, wind loads, snow loads, and their relevant combinations are specified for the calculation of ultimate limit state and serviceability limit state. Static analysis was performed in Robot Structural Analysis Professional 2023. Based on the results of internal forces, there was made dimensioning of the secondary and main supporting structure. The characteristic column base connection and the truss-to-column connection were calculated.

KEYWORDS: steel construction, canopy, solar panels, ultimate limit state, serviceability limit state

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Nadstrešnice.....	1
1.2. Solarni paneli.....	1
2. TEHNIČKI OPIS	3
2.1. Opis konstrukcije.....	3
2.2. Opis proračuna.....	4
3. ANALIZA DJELOVANJA	5
3.1. Stalno djelovanje.....	5
3.2. Promjenjivo djelovanje.....	5
3.2.1. Opterećenje snijegom	5
3.2.2. Opterećenje vjetrom	7
4. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNOG NOSAČA.....	16
4.1. Analiza opterećenja.....	16
4.2. Rezultati statičkog proračuna.....	20
4.3. Klasifikacija poprečnog presjeka	23
4.4. Provjera graničnog stanja nosivosti	23
4.4.1. Otpornost poprečnog presjeka	23
4.4.2. Otpornost elementa.....	24
4.5. Provjera graničnog stanja uporabljivosti.....	26
5. DIMENZIONIRANJE GLAVNOG NOSAČA	27
5.1. Shema čvorova i elemenata te profili za proračun unutarnjih sila i momenata.....	27
5.2. Analiza opterećenja.....	27
5.3. Rezultati statičkog proračuna - GSN.....	32
5.4. Dimenzioniranje gornjeg pojasa.....	35
5.4.1. Klasifikacija poprečnog presjeka	36
5.4.2. Otpornost poprečnog presjeka	37
5.4.3. Otpornost elementa.....	37
5.5. Dimenzioniranje donjeg pojasa.....	38
5.5.1. Otpornost poprečnog presjeka	39
5.5.2. Otpornost elementa.....	39
5.6. Dimenzioniranje ispune.....	40
5.6.1. Klasifikacija poprečnog presjeka	41
5.6.2. Otpornost poprečnog presjeka	42

5.6.3. Otpornost elementa.....	42
5.7. Dimenzioniranje stupa	44
5.7.1. Klasifikacija poprečnog presjeka	46
5.7.2. Otpornost poprečnog presjeka	47
5.7.3. Otpornost elementa.....	49
5.8. Rezultati statičkog proračuna - GSU.....	53
5.9. Provjera progiba rešetkastog nosača	54
5.10. Provjera pomaka stupa	54
6. PRORAČUN SPOJEVA.....	55
6.1. Stup na temelj	55
6.1.1. Proračun vijaka.....	56
6.1.2. Proračun zavara.....	58
6.2. Gornji pojas rešetke na stup	60
6.2.1. Proračun vijaka.....	60
6.2.2. Proračun zavara.....	61
7. ZAKLJUČAK.....	63
8. LITERATURA.....	64

POPIS TABLICA

Tablica 1: Modeli solarnih panela s vrijednostima parametara pri standardnim testnim uvjetima [2]	2
Tablica 2: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu [6]	7
Tablica 3: Vrijednosti koeficijenta neto tlaka i sveukupne sile za jednostrešne nadstrešnice [5] ...	11
Tablica 4: Opterećenje po zonama za uzdužni smjer vjetra	12
Tablica 5: Opterećenje po zonama za poprečni smjer vjetra	14
Tablica 6: Podaci o profilu IPE 300 (podrožnica)	19
Tablica 7: Podaci o profilu 220x8 (gornji pojas)	36
Tablica 8: Podaci o profilu 220x8 (donji pojas)	39
Tablica 9: Podaci o profilu 140x6,3 (ispuna)	41
Tablica 10: Podaci o profilu HEM 1000 (stup)	45

POPIS SLIKA

Slika 1: Čelična konstrukcija konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima s osnovnim dimenzijama	3
Slika 2: Raspodjela opterećenja za jednostrešni krov [6]	5
Slika 3: Karta snježnih područja Republike Hrvatske [6]	6
Slika 4: Karta osnovne brzine vjetra u Republici Hrvatskoj [1]	8
Slika 5: Grafički prikaz faktora izloženosti [1]	10
Slika 6: Raspodjela vjetrovnih zona na krovu nadstrešnice za uzdužni smjer vjetra	12
Slika 7: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^{\circ}$	12
Slika 8: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^{\circ}$ (uzdužni presjek 1-1 sa Slike 7)	13
Slika 9: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^{\circ}$	13
Slika 10: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^{\circ}$ (uzdužni presjek 1-1 sa Slike 9)	13
Slika 11: Raspodjela vjetrovnih zona na krovu nadstrešnice za poprečni smjer vjetra	14
Slika 12: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^{\circ}$	14
Slika 13: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^{\circ}$ (poprečni presjek 2-2 sa Slike 12)	15
Slika 14: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^{\circ}$	15
Slika 15: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^{\circ}$ (poprečni presjek 2-2 sa Slike 14)	15
Slika 16: Skica statičkog sustava podrožnica za stalno opterećenje bez vlastite težine podrožnice .	16
Slika 17: Skica statičkog sustava podrožnica za opterećenje snijegom	17
Slika 18: Skica statičkog sustava podrožnica za opterećenje vjetrom	17
Slika 19: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 1)	17
Slika 20: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 2)	18
Slika 21: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 3)	18
Slika 22: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 4)	19
Slika 23: Skica profila IPE 300 (podrožnica)	19
Slika 24: Dijagram momenata savijanja podrožnice za pritiskajuće djelovanje – GSN (COMB1)	20
Slika 25: Dijagram poprečnih sila u podrožnici za pritiskajuće djelovanje - GSN (COMB 1)	20
Slika 26: Dijagram momenata podrožnice za odižuće djelovanje – GSN (COMB2)	21
Slika 27: Dijagram poprečnih sila u podrožnici za odižuće djelovanje - GSN (COMB 2)	21
Slika 28: Prikaz deformacije podrožnice za pritiskajuće djelovanje – GSU (COMB3)	22
Slika 29: Prikaz deformacije podrožnice za odižuće djelovanje – GSU (COMB 4)	22
Slika 30: Shema čvorova i elemenata	27
Slika 31: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSN – pritiskajuće djelovanje	29
Slika 32: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSN – odižuće djelovanje	30
Slika 33: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSU – pritiskajuće djelovanje	31
Slika 34: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSU – odižuće djelovanje	32
Slika 35: Dijagram uzdužnih sila u nosaču za pritiskajuće djelovanje	33
Slika 36: Dijagram momenata u nosaču za pritiskajuće djelovanje	33
Slika 37: Dijagram uzdužnih sila u nosaču za odižuće djelovanje	34
Slika 38: Dijagram momenata u nosaču za odižuće djelovanje	34
Slika 39: Tlačno opterećenje gornjeg pojasa	35
Slika 40: Vlačno opterećenje gornjeg pojasa	35
Slika 41: Skica profila 220x8 (gornji pojas)	36
Slika 42: Tlačno opterećenje donjeg pojasa	38
Slika 43: Vlačno opterećenje donjeg pojasa	39

Slika 44: Skica profila 220x8 (donji pojas)	39
Slika 45: Tlačno opterećenje elementa.....	40
Slika 46: Vlačno opterećenje elementa	41
Slika 47: Skica profila 140x6,3 (ispuna).....	41
Slika 48: Unutarnje sile i momenti savijanja u stupu od djelovanja glavnog nosača.....	44
Slika 49: Unutarnje sile i momenti savijanja u stupu od djelovanja vjetra na stup	44
Slika 50: Unutarnje sile i momenti savijanja u stupu	45
Slika 51: Skica profila HEM 1000 (stup)	46
Slika 52: Deformacija nosača za pritiskajuće djelovanje	53
Slika 53: Deformacija nosača za odižuće djelovanje	53
Slika 54: Spoj stupa na temelj (nacrt)	55
Slika 55: Spoj stupa na temelj (tlocrt)	56
Slika 56: Spoj stupa na temelj – prikaz rastavljanja momenta savijanja na spreg sila.....	58
Slika 57: Spoj gornjeg pojasa rešetke i stupa (nacrt)	60
Slika 58: Spoj gornjeg pojasa rešetke stupa (bokocrt)	61

1. UVOD

1.1. Nadstrešnice

Nadstrešnica je objekt koji ima pokrov i služi natkrivanju neke površine. Može biti zaseban objekt ili povezan za već postojeću građevinu. Krov nadstrešnice definiran je kao krov konstrukcije koja nema stalne zidove kao što su benzinske crpke, štagljevi i sl. [1] Nadstrešnice mogu biti konstruirane različitim statičkim sustavima, materijalima i profilima materijala ovisno o potrebama koje moraju zadovoljiti. U ovom radu napravljen je proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima. Namjena nadstrešnice je parking za autobuse (10 mjesta).

1.2. Solarni paneli

Solarni panel ili fotonaponska ploča je panel koji se sastoji od puno fotonaponskih ćelija. Svaka ćelija se sastoji od dva dijela poluvodiča (najčešće silicija). Jedan dio ima dodatne elektrone (N-dio), a drugi dio ima dodatne rupe za elektrone (P-dio). Elektroni se mogu gibati s jedne na drugu stranu stvarajući različite polove. Kada na panel dođe sunčeva svjetlost, stvorit će se nove rupe i izbiti elektroni. Elektroni uvijek teže prema pozitivnom kraju da se uravnoteže i putuju u tom smjeru. Ti putujući elektroni prikupljaju se tankim metalnim žicama na vrhu ćelije gdje daju energiju prije nego što nastave svoj put. Od svake ćelije možemo dobiti samo pola volta, ali ćelije se mogu povezivati u module pa se iznos povećava. Snaga je proizvod napona i struje. U ovom su radu korišteni paneli Solvis SV 144-455 E HC9B [2] koji imaju 455 W i sa ostalim specifikacijama prikazanima u Tablici 1.

Tablica 1: Modeli solarnih panela s vrijednostima parametara pri standardnim testnim uvjetima [2]

Vrijednosti parametara pri standardnim testnim uvjetima (STC)						
MODEL		SV144-435 E HC9B	SV144-440 E HC9B	SV144-445 E HC9B	SV144-450 E HC9B	SV144-455 E HC9B
Vršna snaga P_{MPP}	[W]	435	440	445	450	455
Dozvoljeno odstupanje	[W]	-0/+5				
Struja kratkog spoja I_{SC}	[A]	11,24	11,24	11,24	11,27	11,29
Napon praznog hoda U_{OC}	[V]	48,81	49,08	49,53	49,70	49,94
Nazivna struja I_{MPP}	[A]	10,55	10,57	10,60	10,63	10,66
Nazivni napon U_{MPP}	[V]	41,36	41,69	42,12	42,34	42,69
Dozvoljeno odstupanje napona i struje	[%]	± 3				
Učinkovitost modula	[%]	20,01%	20,24%	20,47%	20,70%	20,93%

STC: 1000W/m² ozračenje, 25 °C temperatura ćelije, AM1,5 g optička masa zraka prema normi EN 60904-3
Prosječni pad učinkovitosti od 3,8 % pri insolaciji od 200 W/m² prema normi EN 60904-1

Korišteno je 516 solarnih panela što daje vrijednost kapaciteta elektrane od 234,78 kW. Aproximativna formula izračuna dnevne količine energije je [3]:

$$\text{dnevna količina energije} = \text{kapacitet elektrane} * \text{sunčani sati} * \text{faktor neuspjelosti}$$

Broj sunčanih sati za odabranu lokaciju (Rovinj) iznosi 6,68, a faktor neuspjelosti je 0,9.

$$\text{dnevna količina energije} = 234,78 * 6,68 * 0,9$$

$$\text{dnevna količina energije} = 1411,50 \text{ kWh}$$

Postoje monokristalni i polikristalni paneli. Monokristalni paneli su napravljeni od jednog kristala silicija, a polikristalni od puno više koji su zajedno otopljeni da formiraju solarnu ćeliju. Monokristalni imaju veću efikasnost, skuplji su i trenutno vodeći po proizvodnji i upotrebi te su primijenjeni u ovom radu.

Solarni paneli se postavljaju na pokrov nadstrešnice (sendvič paneli) te se dobivena energija može koristiti za potrebe kolodvora ili za prodaju.

2. TEHNIČKI OPIS

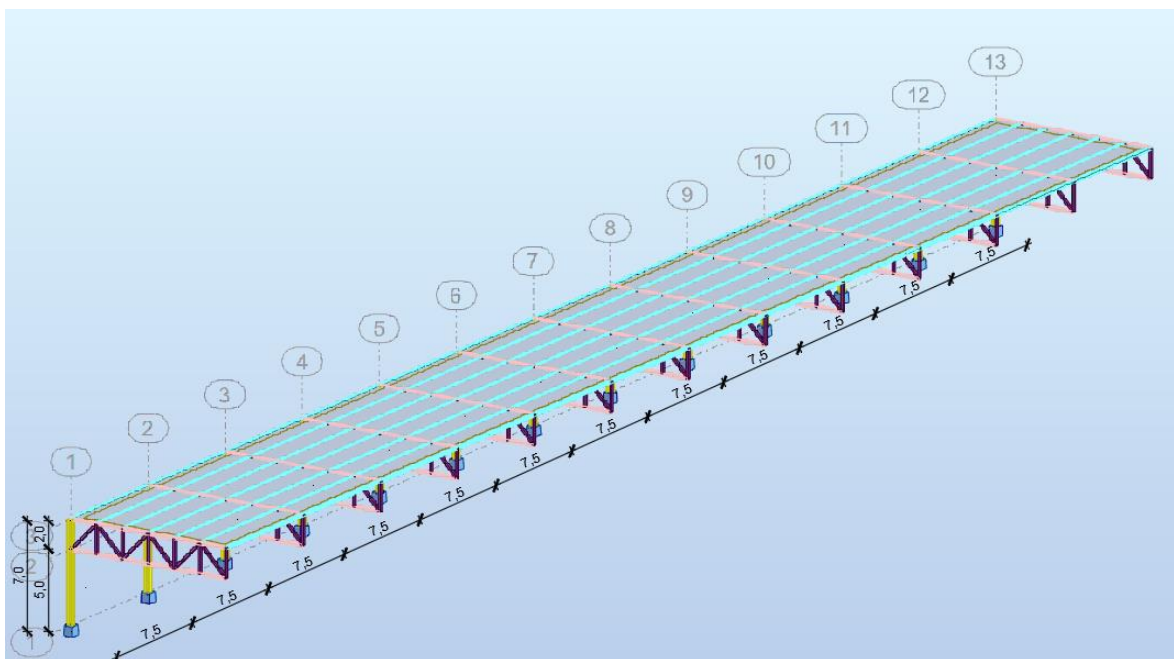
2.1. Opis konstrukcije

Tlocrtne dimenzije objekta koje se odnose na vanjske rubove pokrova iznose 12,4 m × 90,0 m. Visina konstrukcije u visini stupa je 7 m iznad kote tla, dok visina najviše kote na kraju konzolne rešetke iznosi 8,1 m. Predviđeni objekt se nalazi u Rovinju i služi za natkrivanje parkirnih mjesta za 10 autobusa.

Predviđena je krovna konstrukcija sa solarnim panelima Solvis SV 144-455 E HC9B. Dimenzije panela iznose 2094 mm × 1038 mm. Uz panele se ugrađuje i cjelokupan sustav elektrane. Krovna ploha ima nagib od 5° u odnosu na horizontalnu ravninu.

Glavna nosiva čelična konstrukcija izvedena je od punostijenih upetih stupova HEM 1000 s konzolnim rešetkastim nosačem postavljeni na osnovom razmaku 7,5 m. Rešetkasti nosač se sastoji od gornjeg i donjeg pojasa od toplodogotovljenih profila kvadratnog poprečnog presjeka 220 × 8 mm i ispune od toplodogotovljenih profila kvadratnog poprečnog presjeka 140 × 6,3 mm.

Podrožnice su izvedene od profila IPE 300 i nalaze se na razmaku od 2,076 m u ravnini krova. Svi elementi nosive čelične konstrukcije izrađeni su od čelika S 275. Spojevi su izvedeni vijcima M27 k.v. 10. 9 i M36 k.v. 10.9 te zavarima.



Slika 1: Čelična konstrukcija konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima s osnovnim dimenzijama

2.2. Opis proračuna

Analiza djelovanja na konstrukciju je napravljena primjenom normi Eurocoda 1 i nacionalnih dodataka HRN EN [4-7].

Proračun unutarnjih sila, momenata savijanja i dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije provedeno je u skladu s Eurocodom [8].

Statički proračun konstrukcije proveden je primjenom programskog paketa Robot Structural Analysis Professional 2023 [9], a nacrti su izrađeni u programskom paketu AutoCAD 2023 [10].

3. ANALIZA DJELOVANJA

3.1. Stalno djelovanje

U stalno djelovanje uključujemo vlastitu težinu konstrukcije koja je obuhvaćena izravno programom, težinu solarnih panela koja za odabrani panel Solvis SV 144-455 E HC9B iznosi $0,113 \text{ kN/m}^2$ i težinu sendvič panela Solarpan Plus koji služe za prihvaćanje limova koja iznosi $0,095 \text{ kN/m}^2$.

3.2. Promjenjivo djelovanje

3.2.1. Opterećenje snijegom

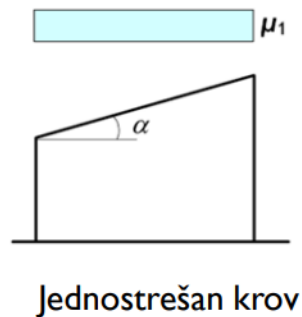
Opterećenje snijegom određeno je prema Europskoj normi HRN EN 1991-1-3 i nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-3/NA.

Vrijednost opterećenja snijegom dobivena je prema sljedećem izrazu:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

Faktor μ_i predstavlja koeficijent oblika opterećenja snijegom. Opterećenje snijegom je vertikalno i odnosi se na horizontalnu projekciju površine krova.

Za jednostrešni krov raspodjela opterećenja je:



Slika 2: Raspodjela opterećenja za jednostrešni krov [6]

Faktor se određuje ovisno o nagibu krova pa tako za krovove nagnute za manje od 30° koeficijent oblika opterećenja snijegom iznosi $\mu_i = 0,8$.

Faktor C_e predstavlja koeficijent izloženosti koji je za projektirani objekt jednak $1,0$.

Faktor C_t predstavlja toplinski koeficijent koji je također za projektirani objekt jednak $1,0$.

Faktor s_k predstavlja karakteristično opterećenje snijegom na tlu. Određuje se u ovisnosti o geografskom položaju i nadmorskoj visini lokacije objekta.



Slika 3: Karta snježnih područja Republike Hrvatske [6]

Odabrana lokacija je Rovinj koji se nalazi u prvom snježnom području Republike Hrvatske.

Tablica 2: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu [6]

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
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		

Faktor s_k za nadmorsku visinu do 100 metara i prvo snježno područje iznosi 0,5 kN/m².

Djelovanje snijega na krovu iznosi:

$$s = 0,8 * 1 * 1 * 0,5$$

$$s = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

3.2.2. Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom određeno je prema Europskoj normi HRN EN 1991-1-4 i nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-4/NA.

Vrijednost osnovne brzine vjetra „ v_b “ dobivena je prema sljedećem izrazu:

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$$

Faktor c_{dir} predstavlja koeficijent smjera vjeta. Uzeta je preporučena vrijednost jednaka 1,0.

Faktor c_{season} predstavlja koeficijent godišnjeg doba. Uzeta je preporučena vrijednost jednaka 1,0.

Faktor $v_{b,0}$ predstavlja temeljnu vrijednost osnovne brzine vjeta. Određuje se uz pomoć karte vjetrova koja se nalazi u Nacionalnom dodatku za Republiku Hrvatsku [1].



Slika 4: Karta osnovne brzine vjeta u Republici Hrvatskoj [1]

Odabrana lokacija objekta je Rovinj čija temeljna vrijednost osnovne brzine vjeta iznosi 30 m/s.

Osnovna brzina vjeta iznosi:

$$v_b = 1 * 1 * 30$$

$$v_b = 30 \text{ m/s}$$

Vrijednost tlaka pri osnovnoj brzini određuje se sljedećim izrazom:

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

Faktor ρ je gustoća zraka koja ovisi o nadmorskoj visini, temperaturi i atmosferskom tlaku koji se očekuju u području tijekom oluja. Uzeta je preporučena vrijednost koja iznosi 1,25 kN/m².

Vrijednost tlaka pri osnovnoj brzini dakle iznosi:

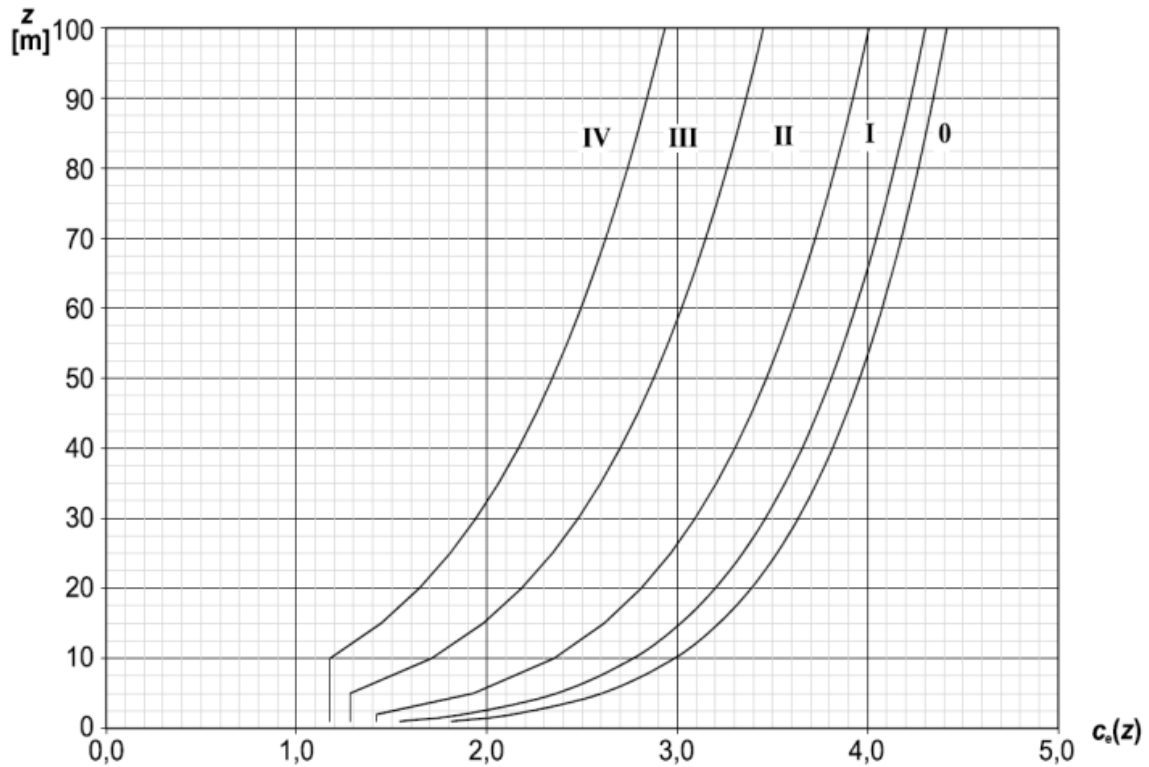
$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * 30^2$$

$$q_b = 562,5 \text{ N/m}^2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Vrijednost pritiska uslijed brzine vjetra određuje se sljedećim izrazom:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b$$

Faktor $c_e(z)$ predstavlja koeficijent izloženosti. Definiran je kao funkcija visine objekta z i kategorije terena i određuje se s grafa (Slika 5).



Slika 5: Grafički prikaz faktora izloženosti [1]

Objekt je smješten u kategoriji terena 0, a visina građevine iznosi 8,09 m.

Vrijednost očitana na grafu iznosi 2,83.

Sveukupna vrijednost pritiska uslijed brzine vjetra tada iznosi:

$$q_p(z) = 2,83 * 0,56$$

$$q_p(z) = 1,58 \text{ kN/m}^2$$

Vrijednost tlaka vjetra okomitog na vanjske površine određuje se sljedećim izrazom:

$$w_e = c_{pe} * q_p(z)$$

Faktor vanjskog pritiska c_{pe} dobiva se primjenom Tablice 3 s obzirom na koeficijent φ koji definira zapriječenost prostora natkrivenog nadstrešnicom (gdje $\varphi=0$ opisuje praznu nadstrešnicu – prazan parking, a $\varphi=1$ zapriječenu odnosno zatvorenu nadstrešnicu sadržajem – pun parking [1]):

Tablica 3: Vrijednosti koeficijenata neto tlaka i sveukupne sile za jednostrešne nadstrešnice [5]

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

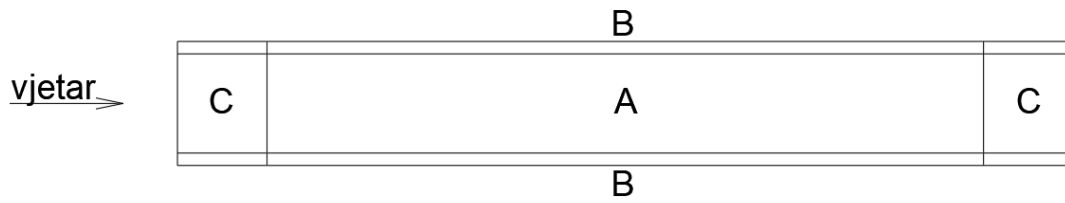
NAPOMENA: + vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema dolje
- vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema gore

Djelovanje vjetra na stup računa se primjenom sljedeće formule:

$$w_c = w_e * \text{širina stupa} = 1,58 * \text{širina stupa}$$

Faktor w_e predstavlja djelovanje vjetra na konstrukciju, a b je širina stupa okomita na smjer puhanja vjetra.

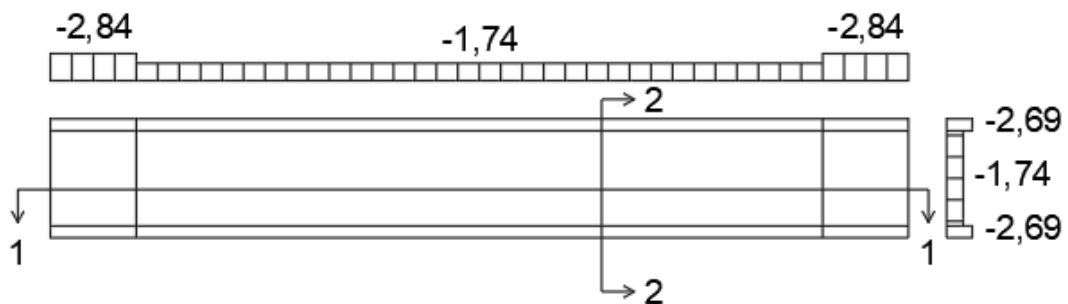
Kada je vjetar postavljen u smjer paralelno s dužom osi konstrukcije kao na skici (Slika 6), rezultate koje dobivamo prikazani su u Tablici 4 i grafički (Slika 7 – 10).



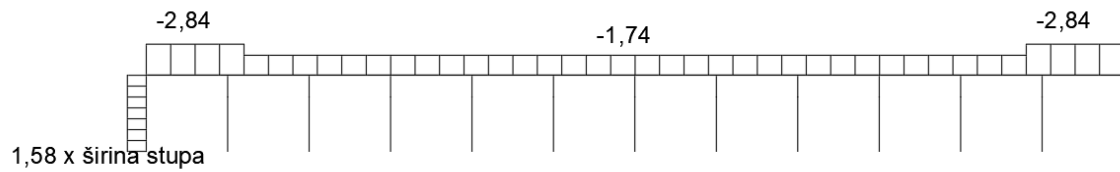
Slika 6: Raspodjela vjetrovnih zona na krovu nadstrešnice za uzdužni smjer vjetra

Tablica 4: Opterećenje po zonama za uzdužni smjer vjetra

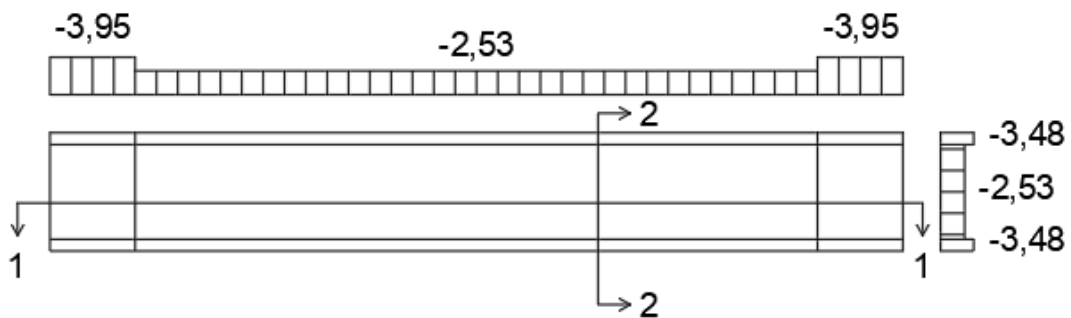
$\varphi=0^\circ$			
ZONA	POVRŠINA [m ²]	C_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	717,80	-1,1	-1,74
B	112,16	-1,7	-2,69
C	112,16	-1,8	-2,84
$\varphi=1^\circ$			
ZONA	POVRŠINA [m ²]	C_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	717,80	-1,6	-2,53
B	112,16	-2,2	-3,48
C	112,16	-2,5	-3,95



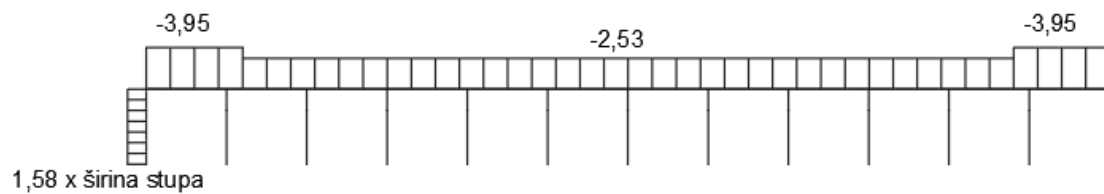
Slika 7: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^\circ$



Slika 8: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^\circ$ (uzdužni presjek 1-1 sa Slike 7)

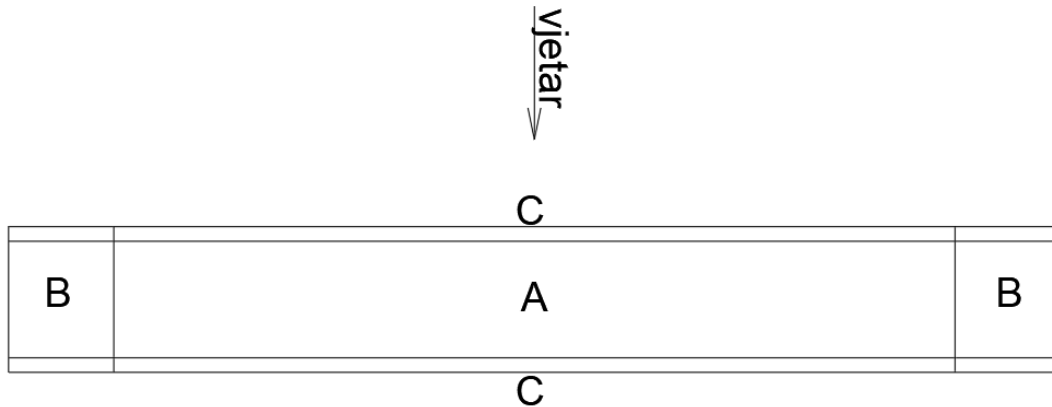


Slika 9: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^\circ$



Slika 10: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^\circ$ (uzdužni presjek 1-1 sa Slike 9)

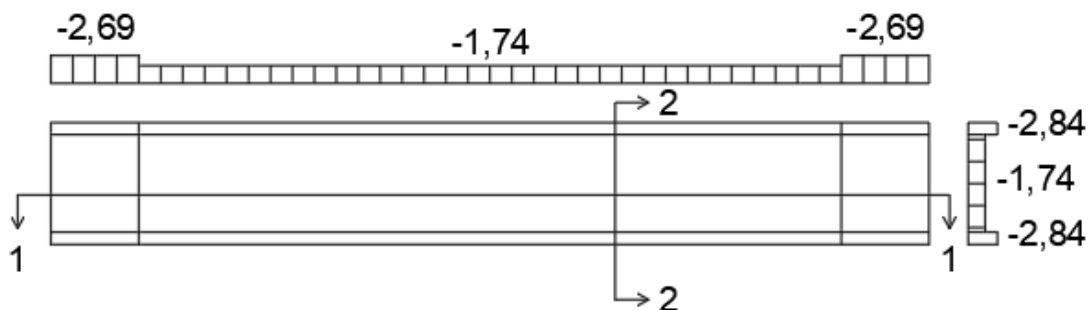
Kada vjetar djeluje poprečno na konstrukciju kao na skici (Slika 9), rezultate koje dobivamo prikazani su u Tablici 5 i grafički (Slika 11 - 15).



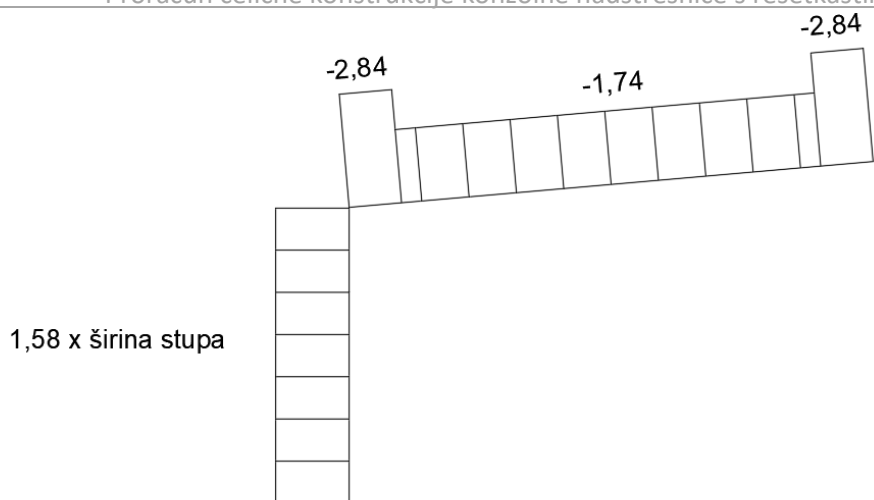
Slika 11: Raspodjela vjetrovnih zona na krovu nadstrešnice za poprečni smjer vjetra

Tablica 5: Opterećenje po zonama za poprečni smjer vjetra

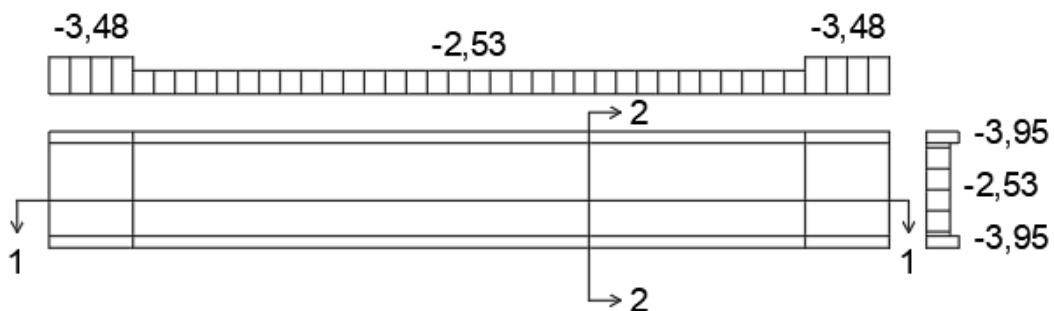
$\varphi=0^\circ$			
ZONA	POVRŠINA [m ²]	C_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	717,80	-1,1	-1,74
B	112,16	-1,7	-2,69
C	112,16	-1,8	-2,84
$\varphi=1^\circ$			
ZONA	POVRŠINA [m ²]	C_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	717,80	-1,6	-2,53
B	112,16	-2,2	-3,48
C	112,16	-2,5	-3,95



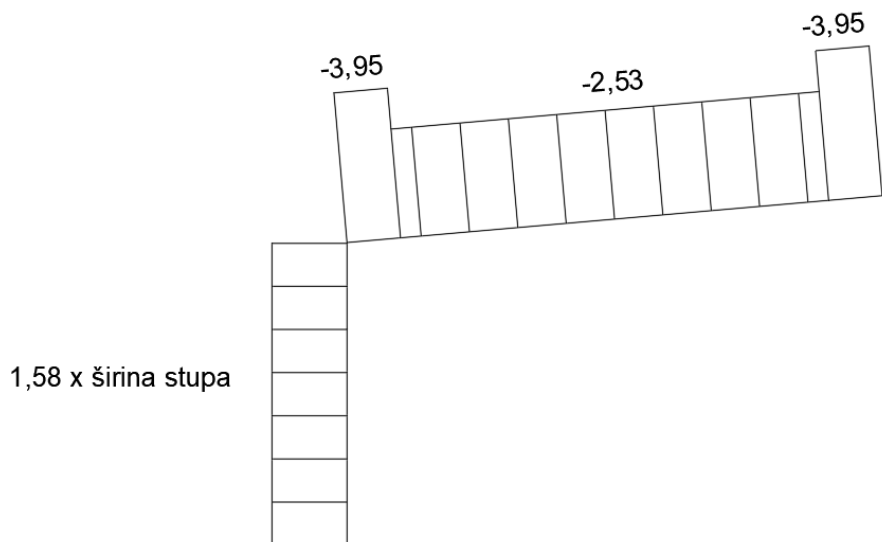
Slika 12: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^\circ$



Slika 13: Opterećenje po zonama za $\varphi=0^\circ$ (poprečni presjek 2-2 sa Slike 12)



Slika 14: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^\circ$



Slika 15: Opterećenje po zonama za $\varphi=1^\circ$ (poprečni presjek 2-2 sa Slike 14)

4. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNOG NOSAČA

Proračun unutarnjih sila i momenata savijanja proveden je uz pomoć programa Robot Stuctural Analysis Professional 2023.

4.1. Analiza opterećenja

Razmak podrožnica: $e = 2,08$ m

1. Stalna djelovanja

- solarni paneli (Solvis SV 144-445 E HC9B):..... $0,113 \cdot 2,08 = 0,24$ kN/m'

- sendvič paneli (Solarpan Plus):..... $0,095 \cdot 2,08 = 0,20$ kN/m'

- ukupno:..... $g'_k = 0,44$ kN/m'

2. Opterećenje snijegom..... $s_k = 0,4 \cdot 2,08 = 0,83$ kN/m'

3. Opterećenje vjetrom

- pritiskajuće djelovanje:.....nema pritiskajućeg djelovanja

- odižuće djelovanje:..... $w_{k,1} = -3,95 \cdot 1,04 = -4,11$ kN/m'

$$w_{k,2} = -3,95 \cdot 0,21 - 2,53 \cdot 1,87 = -5,56 \text{ kN/m'}$$

$$w_{k,3} = -2,53 \cdot 2,08 = -5,26 \text{ kN/m'}$$

Sekundarni nosači (podrožnice) imaju sustav proste grede zbog ograničene duljine transporta.

Skice opterećenja:

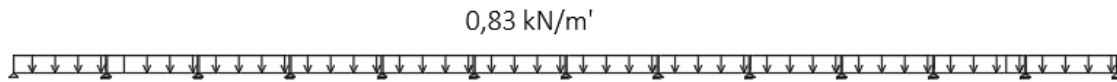
1. Stalna djelovanja

0,44 kN/m'



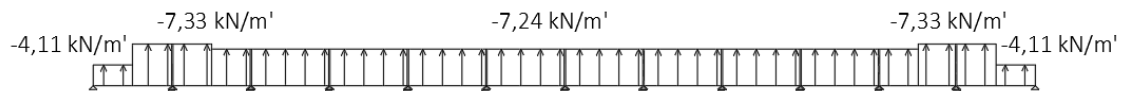
Slika 16: Skica statičkog sustava podrožnica za stalno opterećenje bez vlastite težine podrožnice

2. Opterećenje snijegom



Slika 17: Skica statičkog sustava podrožnica za opterećenje snijegom

3. Opterećenje vjetrom



Slika 18: Skica statičkog sustava podrožnica za opterećenje vjetrom

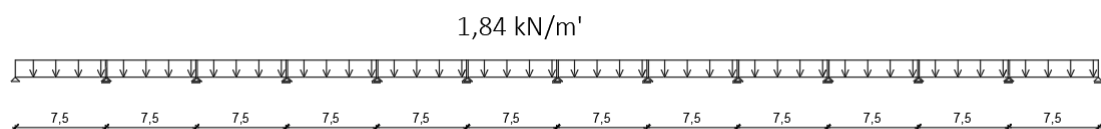
Kombinacije djelovanja na koje se dimenzioniraju podrožnice su sljedeće:

Slučaj 1: Pritiskajuće djelovanje – GSN – stalno + snijeg + pritiskajući vjetar

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,35).....uzeto programom

$$q_d = 1,35 \cdot g'_k + 1,5 \cdot (s_k + 0,6 \cdot w_k)$$

$$= 1,35 \cdot 0,44 + 1,5 \cdot (0,83 + 0,6 \cdot 0,00) = 1,84 \text{ kN/m'}$$



Slika 19: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 1)

Slučaj 2: Odižuće djelovanje – GSN – stalno + odižući vjetar

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

$$q_d = 1,00 \cdot g'_k + 1,50 \cdot w_k$$

-na segmentu:

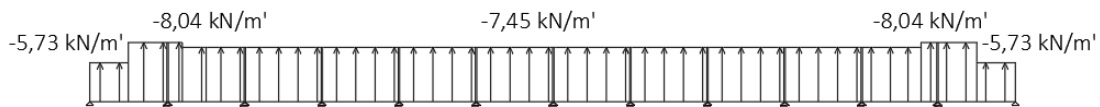
$$0 \text{ m} - 3,75 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,5 \cdot (-4,11) = -5,73 \text{ kN/m'}$$

$$3,75 \text{ m} - 9 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,5 \cdot (-5,56) = -8,04 \text{ kN/m'}$$

$$9 \text{ m} - 81 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,5 \cdot (-5,26) = -7,45 \text{ kN/m'}$$

$$81 \text{ m} - 86,25 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,5 \cdot (-5,56) = -8,04 \text{ kN/m'}$$

$$86,25 \text{ m} - 90,00 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,5 \cdot (-4,11) = -5,73 \text{ kN/m'}$$



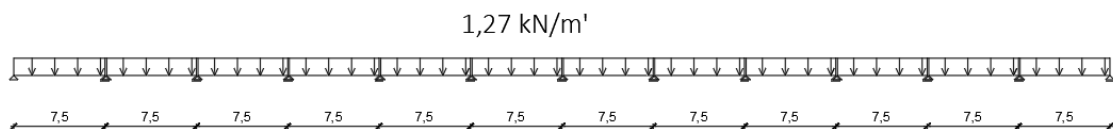
Slika 20: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 2)

Slučaj 3: Pritiskajuće djelovanje – GSU – stalno + snijeg + pritiskajući vjetar

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

$$q_d = 1,0 \cdot g'_k + 1,0 \cdot (s_k + 0,6 \cdot w_k)$$

$$= 1,0 \cdot 0,44 + 1,0 \cdot (0,83 + 0,6 \cdot 0,00) = 1,27 \text{ kN/m'}$$



Slika 21: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 3)

Slučaj 4: Odižuće djelovanje – GSU – stalno + odižući vjetar

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

$$q_{d,z} = 1,0 \cdot g'_k + 1,0 \cdot (w_k)$$

-na segmentu:

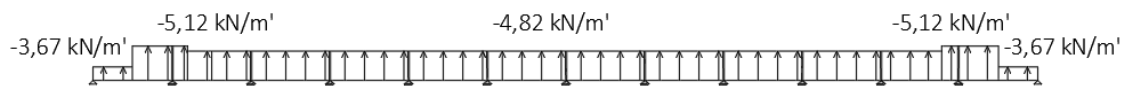
$$0 \text{ m} - 3,75 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,0 \cdot (-4,11) = -3,67 \text{ kN/m'}$$

$$3,75 \text{ m} - 9 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,0 \cdot (-5,56) = -5,12 \text{ kN/m'}$$

$$9 \text{ m} - 81 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,0 \cdot (-5,26) = -4,82 \text{ kN/m'}$$

$$81 \text{ m} - 86,25 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,0 \cdot (-5,56) = -5,12 \text{ kN/m'}$$

$$86,25 \text{ m} - 90,00 \text{ m}: \quad q_d = 1,0 \cdot 0,44 + 1,0 \cdot (-4,11) = -3,67 \text{ kN/m'}$$



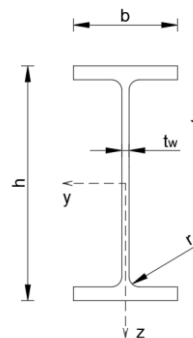
Slika 22: Prikaz opterećenja podrožnica (COMB 4)

Pretpostavka profila podrožnica: IPE 300

Tablica 6: Podaci o profilu IPE 300 (podrožnica)

Profil	G	A	h	b	tw	tf	r	lt	lw*10-3	ly
IPE 300	42,2	53,81	300	150	7,1	10,7	15	20,12	125,9	8356

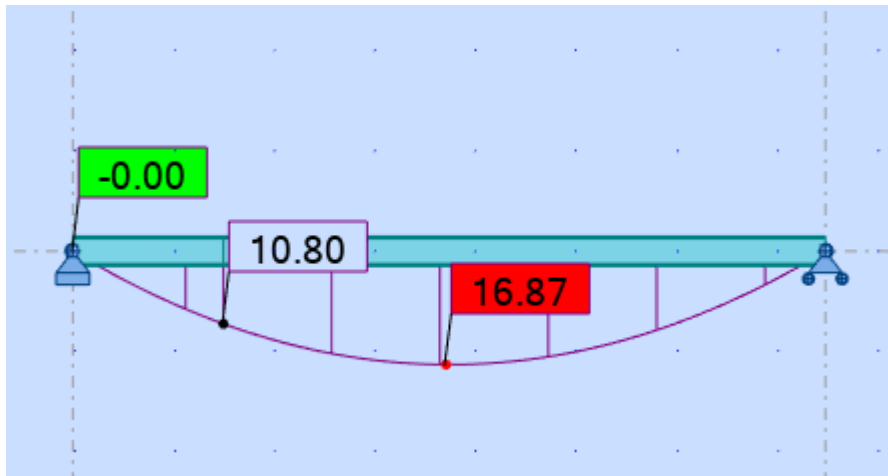
Profil	Wy	Wpl,y	iy	Av,z	Iz	Wz	Wpl,z	iz	Av,y
IPE 300	557	628,4	12	26	604	81	125,2	3,35	33,67



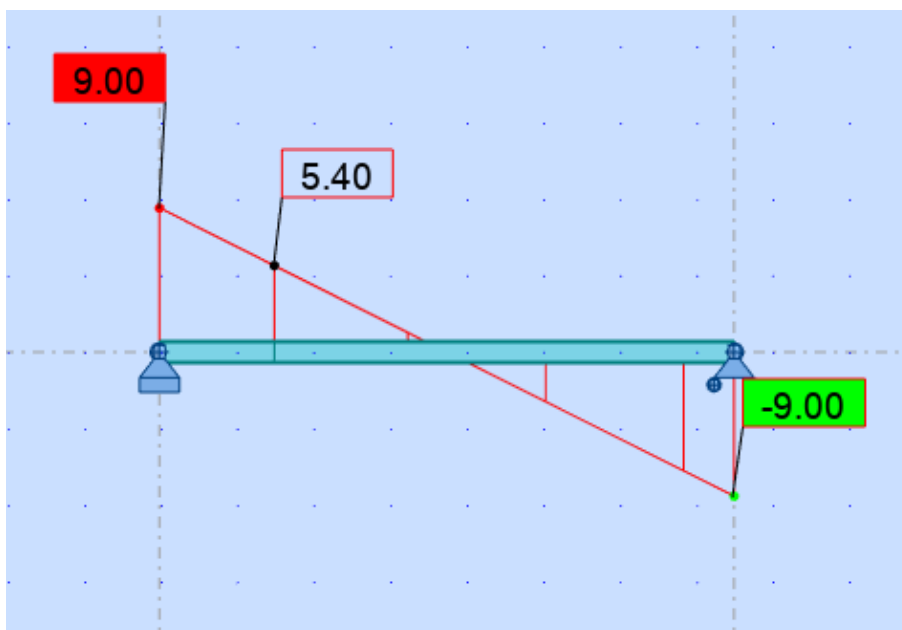
Slika 23: Skica profila IPE 300 (podrožnica)

4.2. Rezultati statičkog proračuna

Slučaj 1: Pritiskajuće djelovanje – GSN



Slika 24: Dijagram momenata savijanja podrožnice za pritiskajuće djelovanje – GSN (COMB1)

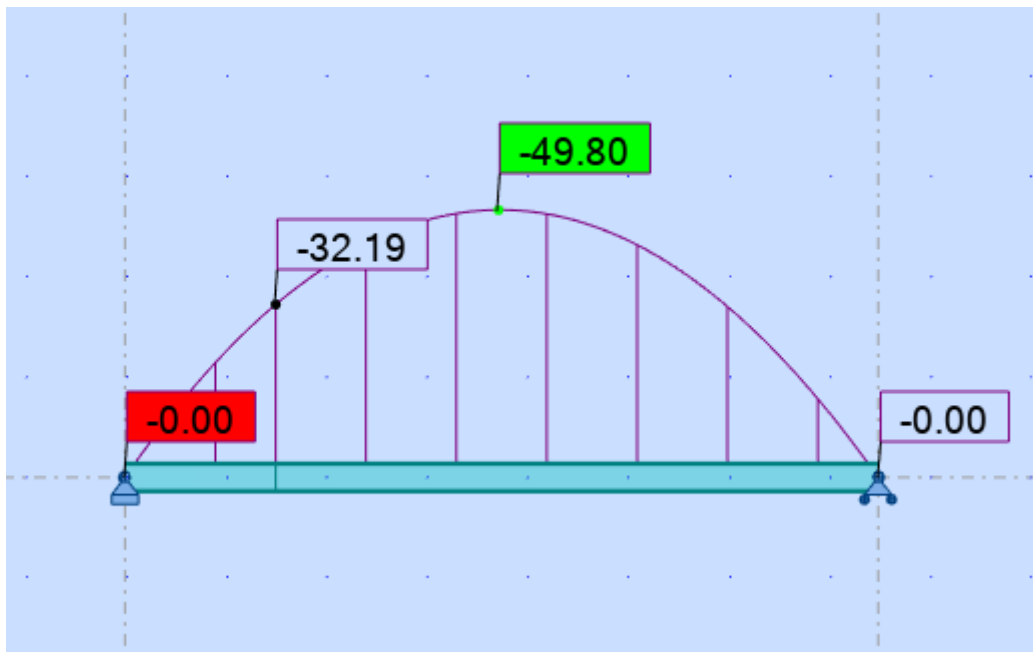


Slika 25: Dijagram poprečnih sila u podrožnici za pritiskajuće djelovanje - GSN (COMB 1)

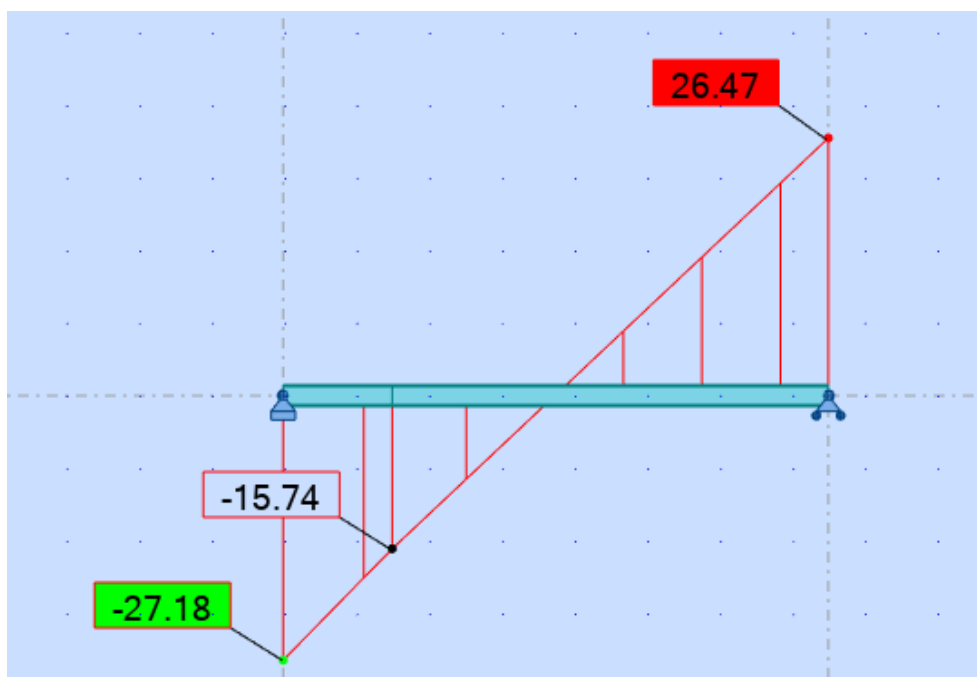
$$M_{Ed} = 16,87 \text{ kNm}$$

$$R_{B, \max} = 9,00 \text{ kN}$$

Slučaj 2: Odižuće djelovanje – GSN



Slika 26: Dijagram momenata podrožnice za odižuće djelovanje – GSN (COMB2)

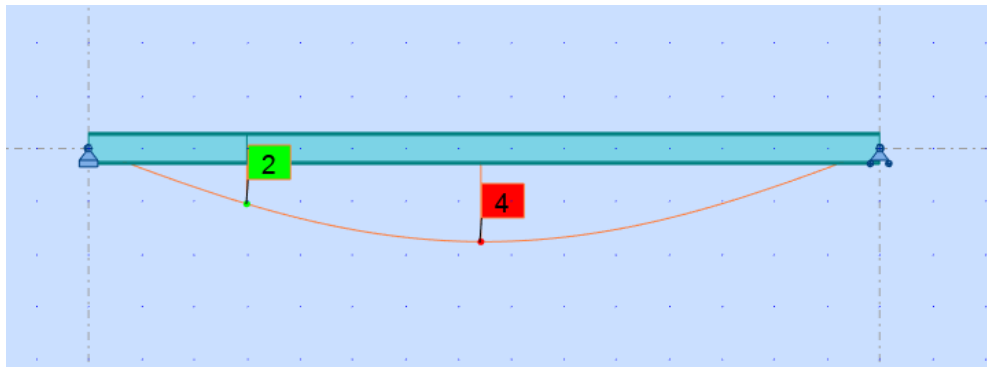


Slika 27: Dijagram poprečnih sila u podrožnici za odižuće djelovanje - GSN (COMB 2)

$$M_{Ed} = 49,80 \text{ kNm}$$

$$R_{B, \max} = 27,18 \text{ kN}$$

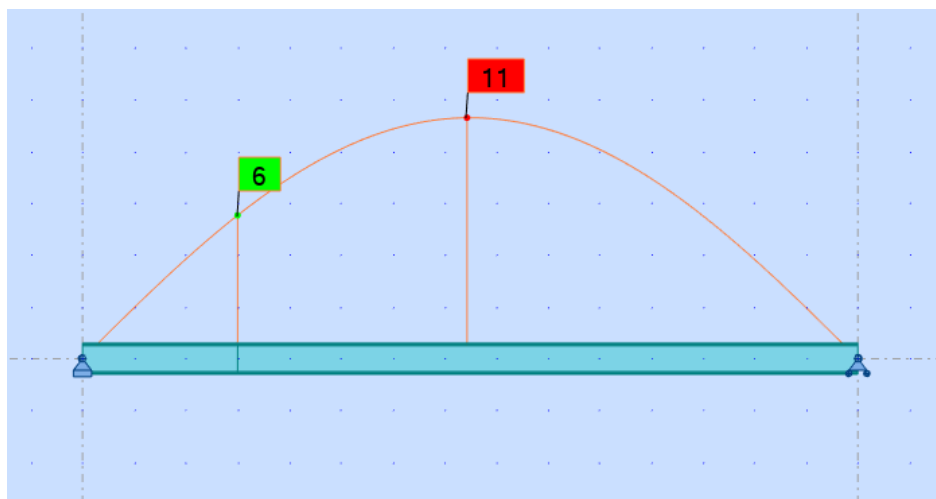
Slučaj 3: Pritiskajuće djelovanje – GSU



Slika 28: Prikaz deformacije podrožnice za pritiskajuće djelovanje – GSU (COMB3)

$$\delta_{\text{vert}} = 4 \text{ mm}$$

Slučaj 4: Odižuće djelovanje – GSU



Slika 29: Prikaz deformacije podrožnice za odižuće djelovanje – GSU (COMB 4)

$$\delta_{\text{vert}} = 11 \text{ mm}$$

Mjerodavne vrijednosti unutarnjih sila za dimenzioniranje sekundarnih nosača su:

$$M_{\text{Ed}} = 49,80 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{Ed},z} = 27,18 \text{ kN}$$

Mjerodavna vrijednost progiba za dimenzioniranje sekundarnih nosača je:

$$\delta_{\text{vert}} = 11 \text{ mm}$$

4.3. Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT – unutarnji element – savijanje

Uvjet za klasu 1:

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

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

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

$$\frac{300 - 2 \cdot 15 - 2 \cdot 10,7}{7,1} \leq 72 \cdot 0,92$$

$$35,1 < 66,24$$

HRBAT – klasa 1

POJASNICA – vanjski element – tlak

Uvjet za klasu 1:

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

$$\frac{(b - 2r - t_w)/2}{t_f} \leq 9\varepsilon$$

$$\frac{(150 - 2 \cdot 15 - 7,1)/2}{10,7} \leq 9 \cdot 0,92$$

$$5,28 < 8,28$$

POJASNICA – klasa 1

Poprečni presjek je KLASE 1.

4.4. Provjera graničnog stanja nosivosti

4.4.1. Otpornost poprečnog presjeka

SAVIJANJE:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{628,4 \cdot 27,5}{1,0} = 17281,00 \text{ kNcm} = 172,81 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{49,80}{172,81} = 0,29 < 1,0 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

POSMIK:

-provjera izbočivanja hrpta na posmik:

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

$$h_w = h - 2t_f = 300 - 2 \cdot 10,7 = 278,6 \text{ mm}$$

$$\frac{86}{7,1} = 39,24 < 72 \frac{0,92}{1,2} = 55,2$$

Zadovoljava provjeru izbočivanja hrpta na posmik.

-plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{V,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{V,z} = 25,68 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 27,86 \cdot 0,71 = 23,74 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{25,68 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}}}{1,0} = 407,72 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{27,18}{407,72} = 0,07 < 1,0 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

INTERAKCIJA M–V:

$$V_{z,Ed} = 27,18 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 407,72 = 203,86 \text{ kN}$$

Nema redukcije plastične otpornosti.

4.4.2. Otpornost elementa

BOČNO – TORZIJSKO IZVIJANJE:

-očitan faktori: $C_1 = 1,13$

$$C_2 = 0,45$$

-elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$M_{cr} = 1,13 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 603,8}{(1 \cdot 750)^2}$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{125900}{603,8} + \frac{(1 \cdot 750)^2 \cdot 8100 \cdot 20,12}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 603,8} + (0,45 \cdot 15)^2} - 0,45 \cdot 15 \right]$$

$$M_{cr} = 7889,83 \text{ kNcm} = 78,90 \text{ kNm}$$

-bezdimenzionalna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628,4 \cdot 27,5}{7889,83}} = 1,480$$

-očitani faktor imperfekcije koji zavisi od krivulje izvijanja: $\alpha_{LT} = 0,21$ (mjerodavna krivulja izvijanja a)

-faktor redukcije – opći slučaj:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,21(1,480 - 0,2) + 1,480^2 \right] = 1,730$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,730 + \sqrt{1,730^2 - 1,480^2}} = 0,381 \leq 1,0$$

-računska otpornost:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,381 \cdot \frac{628,4 \cdot 27,5}{1,1} = 5985,82 \text{ kNcm} = 59,86 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{Ed, polje}}{M_{b, Rd}} = \frac{49,80}{59,86} = 0,83 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa iznosi 83%.

4.5. Provjera graničnog stanja uporabljivosti

Prema HRN EN 1990/NA ukupni vertikalni progib mora biti manji ili jednak $L/200$, a doprinos vertikalnom progibu od promjenjivog djelovanja mora biti manji ili jednak $L/250$, gdje je L raspon podrožnica.

$$\delta_{V, očitano} = 11 \text{ mm} \leq \delta_{V, dop} = L/200 = 7500/200 = 37,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{V, q, očitano} = 13 \text{ mm} \leq \delta_{V, q, dop} = L/250 = 7500/250 = 30 \text{ mm}$$

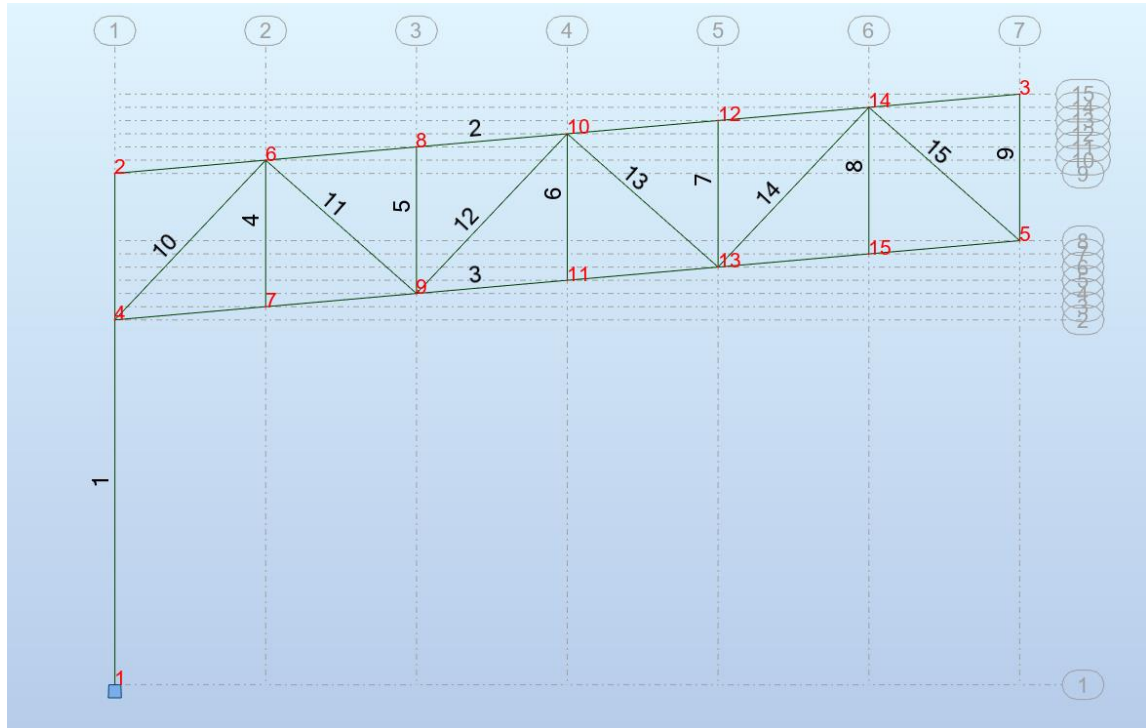
Provjera progiba od vlastite težine konstrukcije:

$$\delta_{V, očitano} = 2 \text{ mm} \leq \delta_{V, dop} = L/200 = 7500/200 = 37,5 \text{ mm}$$

Zaključak: Sekundarni nosač (podrožnica) izvedena od profila IPE 300 zadovoljava granično stanje nosivosti i uporabljivosti.

5. DIMENZIONIRANJE GLAVNOG NOSAČA

5.1. Shema čvorova i elemenata te profili za proračun unutarnjih sila i momenata



Slika 30: Shema čvorova i elemenata

Pretpostavka poprečnih profila za glavni nosač:

GORNJI POJAS:	220x220x8 (element 2)
DONJI POJAS:	220x220x8 (element 3)
ISPUNA:	140x140x6,3 (elementi 4-15)
STUP:	HEM 1000 (element 1)

5.2. Analiza opterećenja

1. Stalna djelovanja

Vlastita težina nosača uzeta je u obzir programom pod imenom VT.

Čvorovi 6, 8, 10, 12, 14

- solarni paneli (Solvis SV 144-445 E HC9B):..... $0,113 \cdot 2,08 \cdot 7,5 = 1,76$ kN
- sendvič paneli (Solarpan Plus):..... $0,095 \cdot 2,08 \cdot 7,5 = 1,48$ kN
- podrožnica IPE 300:..... $0,57 \cdot 7,5 = 4,28$ kN

- ukupno:..... $G'_{k1} = 7,52$ kN

Čvorovi 2 i 3

- solarni paneli (Solvis SV 144-445 E HC9B):..... $0,113 \cdot 1,04 \cdot 7,5 = 0,88$ kN

- sendvič paneli (Solarpan Plus):..... $0,095 \cdot 1,04 \cdot 7,5 = 0,74$ kN

- podrožnica IPE 300:..... $0,57 \cdot 7,5 = 4,28$ kN

- ukupno:..... $G'_{k,2} = 5,90$ kN

2. Opterećenje snijegom

Čvorovi 6, 8, 10, 12, 14

- snijeg..... $S_{k,1} = 0,4 \cdot 2,08 \cdot 7,5 = 6,24$ kN

Čvorovi 2 i 3

- snijeg..... $S_{k,2} = 0,4 \cdot 1,04 \cdot 7,5 = 3,12$ kN

3. Opterećenje vjetrom

Čvorovi 8, 10, 12

-pritiskajuće djelovanje – krov:.....nema pritiskajućeg djelovanja

-odižuće djelovanje – krov:..... $W_{k,2} = -3,48 \cdot 2,08 \cdot 7,50 = -54,29$ kN

Čvorovi 2 i 3

-pritiskajuće djelovanje – krov:.....nema pritiskajućeg djelovanja

-odižuće djelovanje – krov:..... $W_{k,1} = -3,95 \cdot 1,04 \cdot 7,50 = -30,81$ kN

Čvorovi 6 i 14

-pritiskajuće djelovanje – krov:.....nema pritiskajućeg djelovanja

-odižuće djelovanje – krov: $W_{k,3} = (-3,95 \cdot 0,21 - 3,48 \cdot 1,87) \cdot 7,50 = -55,03$ kN

Kombinacije djelovanja na koje se dimenzionira glavni nosač su sljedeće:

Služaj 1: Pritiskajuće djelovanje – GSN – stalno + snijeg + pritiskajući vjetar

Čvorovi 6, 8, 10, 12, 14

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,35).....uzeto programom

$$1,35 \cdot G'_k + 1,5 \cdot (S_k + 0,6 \cdot W_k)$$

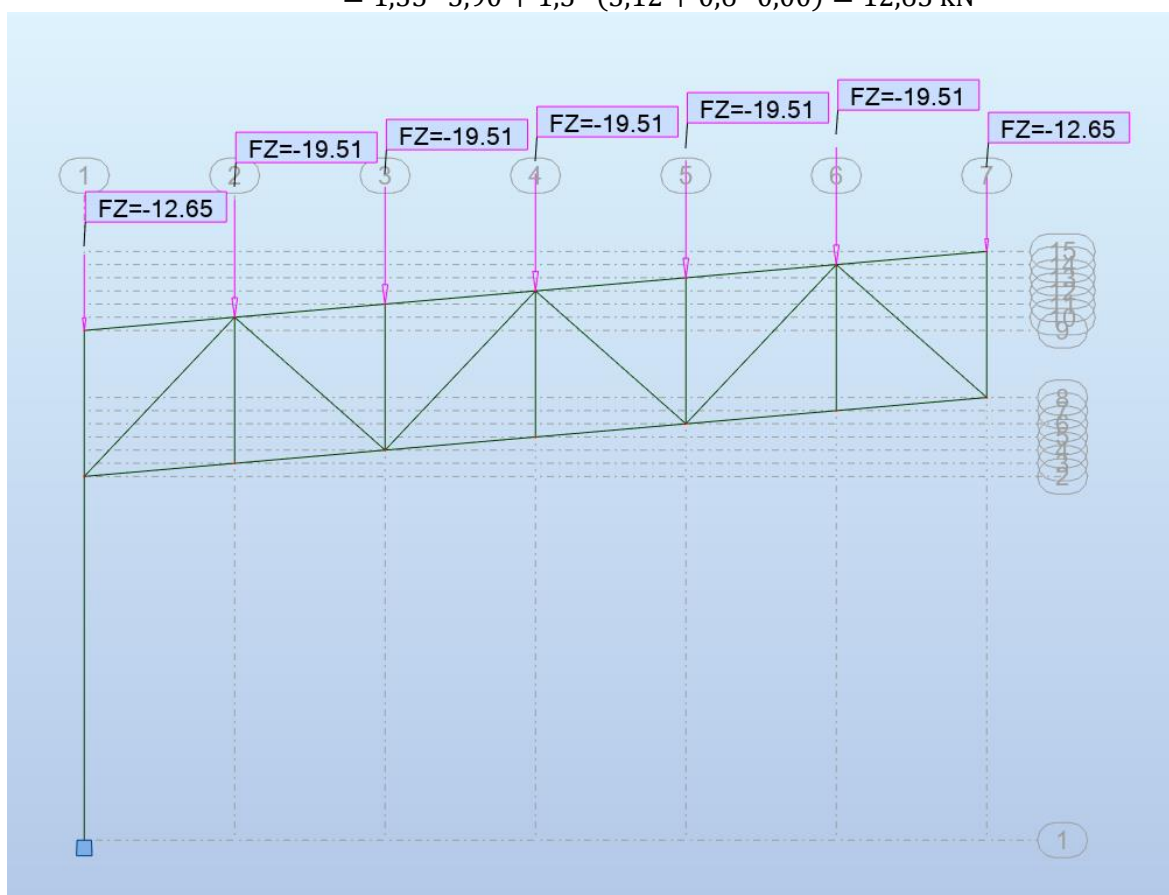
$$= 1,35 \cdot 7,52 + 1,5 \cdot (6,24 + 0,6 \cdot 0,00) = 19,51 \text{ kN}$$

Čvorovi 2 i 3

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,35).....uzeto programom

$$1,35 \cdot G'_k + 1,5 \cdot (S_k + 0,6 \cdot W_k)$$

$$= 1,35 \cdot 5,90 + 1,5 \cdot (3,12 + 0,6 \cdot 0,00) = 12,65 \text{ kN}$$



Slika 31: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSN – pritiskajuće djelovanje

Slučaj 2: Odižuće djelovanje – GSN – stalno + odižući vjetar

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

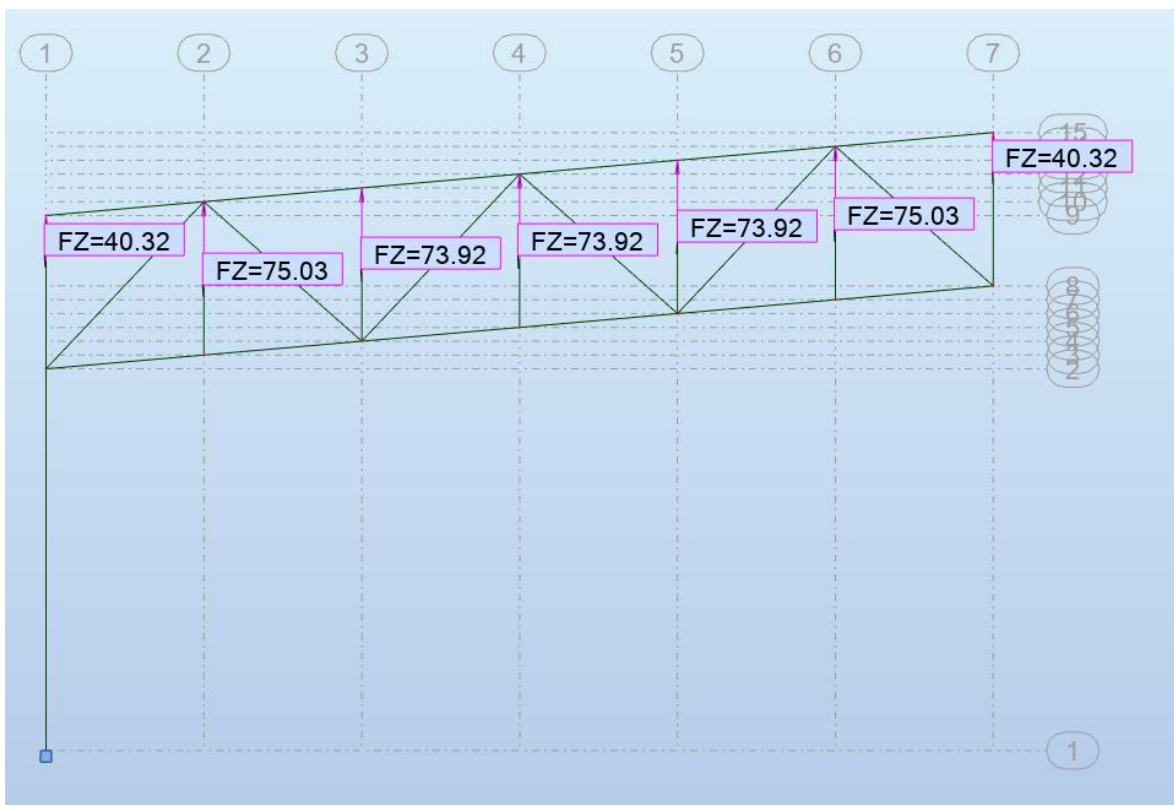
$$1,00 \cdot G'_k + 1,50 \cdot W_k$$

-čvorovi:

$$8, 10, 12: \quad 1,0 \cdot 7,52 + 1,5 \cdot (-54,29) = -73,92 \text{ kN}$$

$$2 \text{ i } 3: \quad 1,0 \cdot 5,90 + 1,5 \cdot (-30,81) = -40,32 \text{ kN}$$

$$6 \text{ i } 14: \quad 1,0 \cdot 7,52 + 1,5 \cdot (-55,03) = -75,03 \text{ kN}$$



Slika 32: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSN – odižuće djelovanje

Slučaj 3: Pritiskajuće djelovanje – GSU – stalno + snijeg + pritiskajući vjetar

Čvorovi 6, 8, 10, 12, 14

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

$$q_d = 1,0 \cdot G'_k + 1,0 \cdot (S_k + 0,6 \cdot W_k)$$

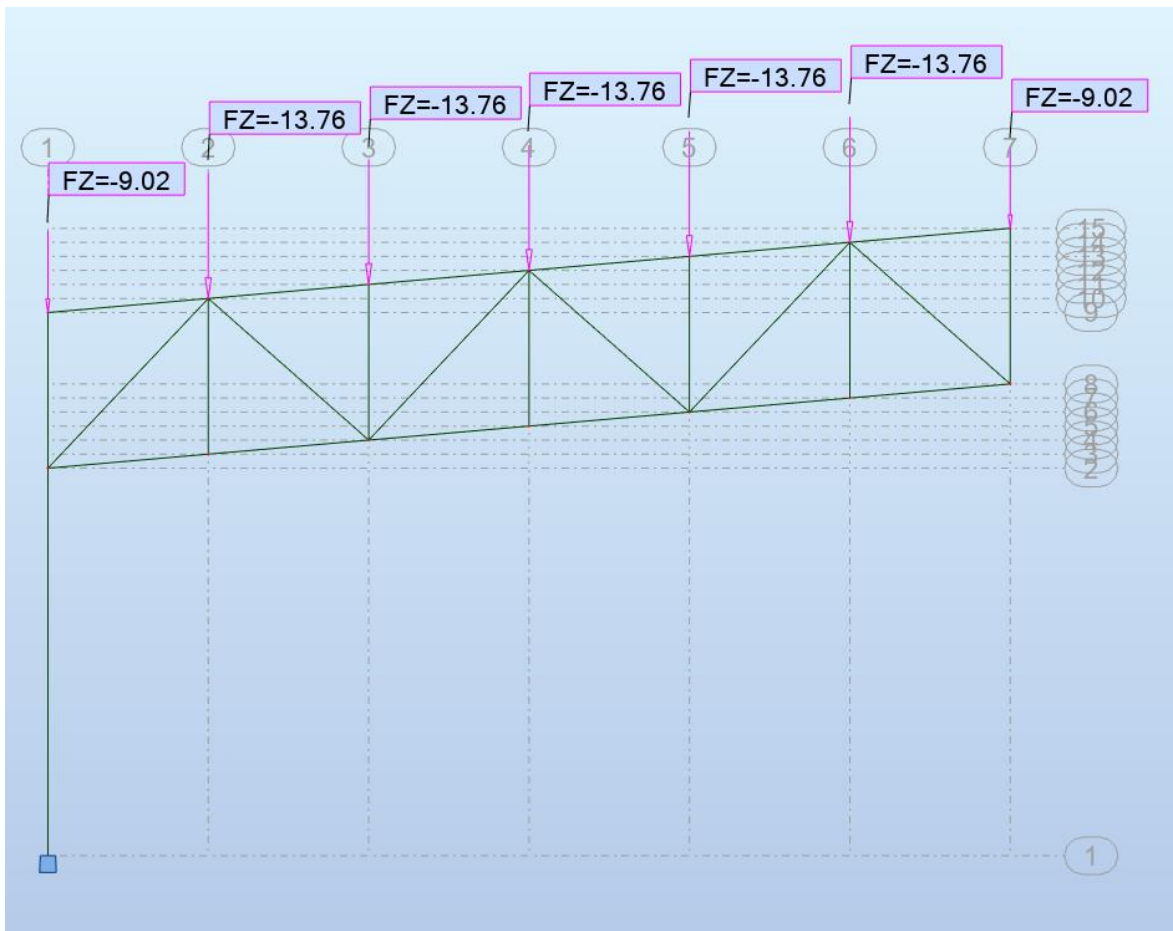
$$= 1,0 \cdot 7,52 + 1,0 \cdot (6,24 + 0,6 \cdot 0,00) = 13,76 \text{ kN}$$

Čvorovi 2 i 3

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

$$q_d = 1,0 \cdot G'_k + 1,0 \cdot (S_k + 0,6 \cdot W_k)$$

$$= 1,0 \cdot 5,90 + 1,0 \cdot (3,12 + 0,6 \cdot 0,00) = 9,02 \text{ kN}$$



Slika 33: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSU – pritiskajuće djelovanje

Slučaj 4: Odižuće djelovanje – GSU – stalno + odižući vjetar

-vlastita težina (parcijalni koeficijent sigurnosti 1,0).....uzeto programom

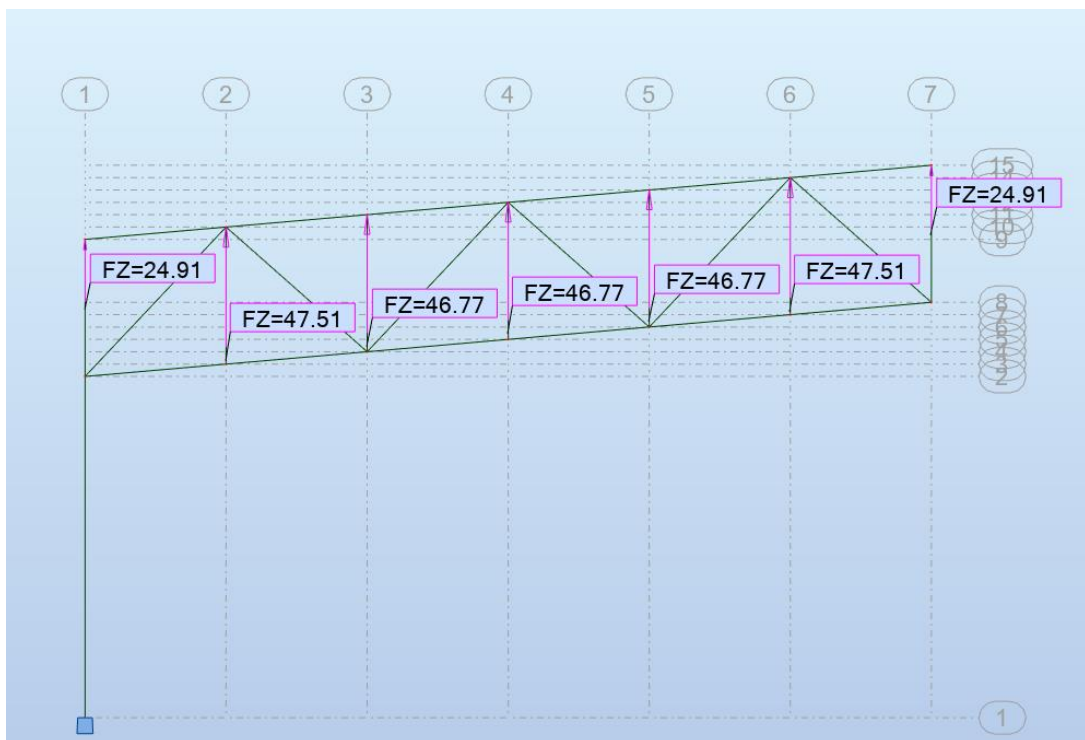
$$1,00 \cdot G'_k + 1,00 \cdot W_k$$

-čvorovi:

$$8, 10, 12: \quad 1,0 \cdot 7,52 + 1,0 \cdot (-54,29) = -46,77 \text{ kN}$$

$$2 \text{ i } 3: \quad 1,0 \cdot 5,90 + 1,0 \cdot (-30,81) = -24,91 \text{ kN}$$

$$6 \text{ i } 14: \quad 1,0 \cdot 7,52 + 1,0 \cdot (-55,03) = -47,51 \text{ kN}$$



Slika 34: Prikaz opterećenja glavnog nosača – GSU – odižuće djelovanje

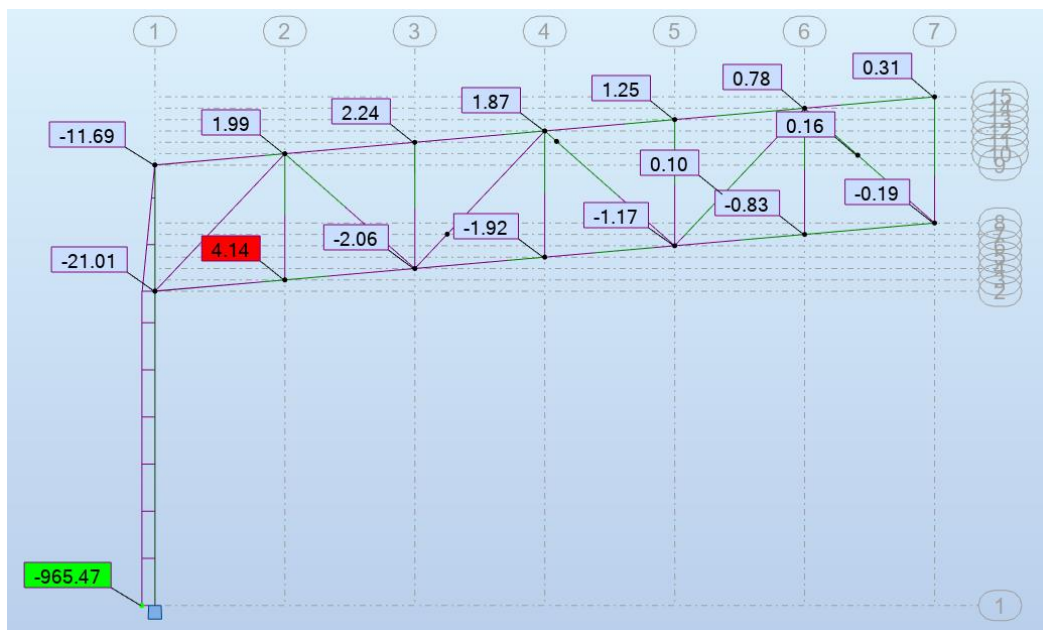
5.3. Rezultati statičkog proračuna - GSN

Pripadajući dijagrami unutarnjih sila i momenata za kombinacije djelovanja dobiveni iz statičkog proračuna su sljedeći:

Slučaj 1: Pritiskajuće djelovanje – GSN (COMB 1)

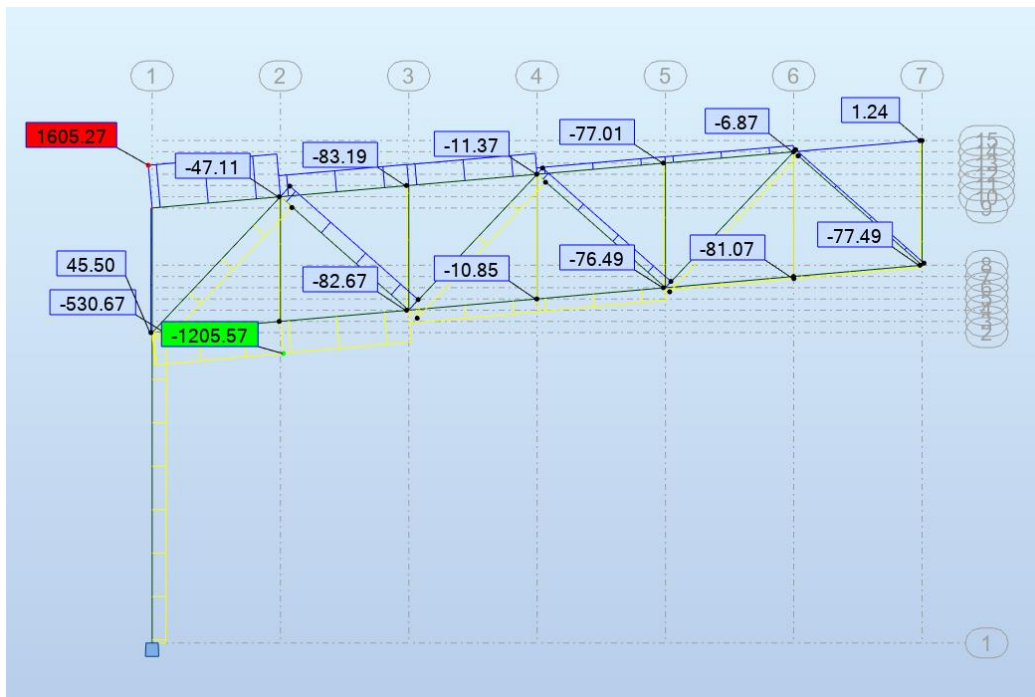


Slika 35: Dijagram uzdužnih sila u nosaču za pritiskajuće djelovanje

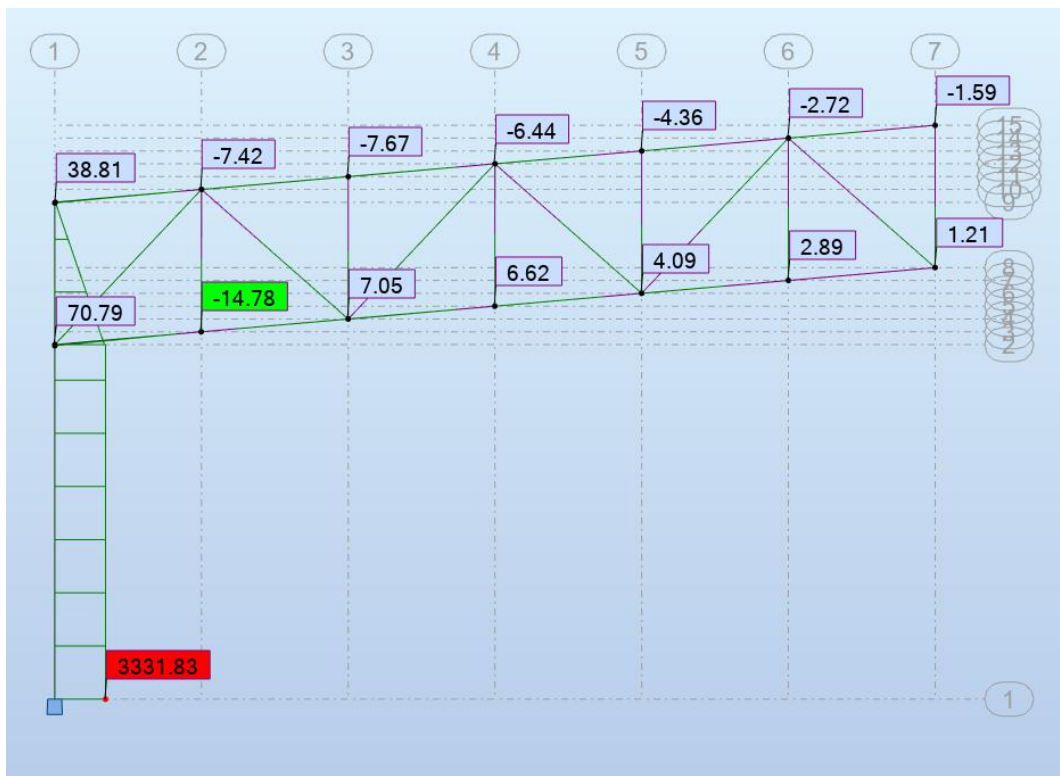


Slika 36: Dijagram momenata u nosaču za pritiskajuće djelovanje

Slučaj 2: Odižuće djelovanje – GSN (COMB 2)



Slika 37: Dijagram uzdužnih sila u nosaču za odižuće djelovanje



Slika 38: Dijagram momenata u nosaču za odižuće djelovanje

Mjerodavne sile i momenti za pojedine elemente su:

GORNJI POJAS:

TLAK: -464,61 kN (COMB 1)

VLAK: +1605,27 kN (COMB 2)

DONJI POJAS:

TLAK: -1205,57 kN (COMB 2)

VLAK: +347,40 kN (COMB 1)

ISPUNA:

-najveće sile:

TLAK: -590,76 kN (COMB 2) element 10

VLAK: +528,61 kN (COMB 2) element 11

-najduži tlačni štap:

Napomena: najduži tlačni štap je element 10, a to je ujedno i štap u kojem se nalazi najveća tlačna sila pa se provjere poklapaju.

5.4. Dimenzioniranje gornjeg pojasa

Gornji pojas se dimenzionira kao tlačni (Slika 39) i vlačni element (Slika 40).



Slika 39: Tlačno opterećenje gornjeg pojasa

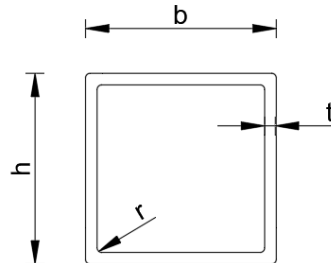


Slika 40: Vlačno opterećenje gornjeg pojasa

Pretpostavka profila: 220x8

Tablica 7: Podaci o profilu 220x8 (gornji pojas)

Profil	G	A	h	b	tw	tf	r	lt	I	W	Wpl	i	AL
220x8	52	66,2	220	220	8	8	4	7784	4895	445	522	8,6	0,853



Slika 41: Skica profila 220x8 (gornji pojas)

5.4.1. Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT – unutarnji element – tlak

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

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

$$\frac{h - 3t}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{220 - 3 \cdot 8}{8} \leq 33 \cdot 0,92$$

$$24,5 < 30,36$$

HRBAT – klasa 1

POJASNICA – unutarnji element – tlak – kvadratni presjek – isti rezultati

POJASNICA – klasa 1

Poprečni presjek je KLASE 1.

5.4.2. Otpornost poprečnog presjeka

TLAK:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{66,2 \cdot 27,5}{1,0} = 1820,5 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{464,61}{1820,5} = 0,26 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

5.4.3. Otpornost elementa

IZVIJANJE:

-duljina izvijanja prema iznosi 2,08 m

-Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4895}{208^2} = 23450,12 \text{ kN}$$

-relativna vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{27,5 \cdot 66,2}{23450,12}} = 0,279$$

-očitani faktor imperfekcije koji zavisi od krivulje izvijanja: $\alpha = 0,21$ (mjerodavna krivulja izvijanja a)

-pomoćni koeficijent:

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,21(0,279 - 0,2) + 0,279^2 \right] = 0,547$$

-faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,547 + \sqrt{0,547^2 - 0,279^2}} = 0,983$$

-otpornost na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,983 \cdot \frac{66,2 \cdot 27,5}{1,1} = 1625,94 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{464,61}{1625,94} = 0,29 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

VLAČNI ELEMENT:

-otpornost bruto poprečnog presjeka:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{66,2 \cdot 27,5}{1,0} = 1820,50 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1605,27}{1820,50} = 0,88 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

-otpornost neto poprečnog presjeka:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 66,2 \cdot 43,0}{1,25} = 2049,55 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{1605,27}{2049,55} = 0,78 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa iznosi 88 %.

Zaključak: Gornji pojas rešetke izveden od profila 220x8 zadovoljava granično stanje nosivosti.

5.5. Dimenzioniranje donjeg pojasa

Donji pojas se dimenzionira kao tlačni (Slika 42) i vlačni element (Slika 43).



Slika 42: Tlačno opterećenje donjeg pojasa

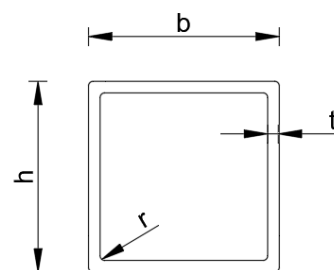


Slika 43: Vlačno opterećenje donjeg pojasa

Pretpostavka profila: 220x8

Tablica 8: Podaci o profilu 220x8 (donji pojas)

Profil	G	A	h	b	tw	tf	r	It	I	W	Wpl	i	AL
220x8	52	66,2	220	220	8	8	4	7784	4895	445	522	8,6	0,853



Slika 44: Skica profila 220x8 (donji pojas)

Poprečni presjek je KLASA 1.

5.5.1. Otpornost poprečnog presjeka

TLAK:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{66,2 \cdot 27,5}{1,0} = 1820,5 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{1205,57}{1820,5} = 0,66 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

5.5.2. Otpornost elementa

IZVIJANJE:

-duljina izvijanja iznosi 2,08 m

-Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4895}{208^2} = 23450,12 \text{ kN}$$

-relativna vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{27,5 \cdot 66,2}{23450,12}} = 0,279$$

-očitan faktor imperfekcije koji zavisi od krivulje izvijanja: $\alpha = 0,21$ (mjerodavna krivulja izvijanja a)

-pomoćni koeficijent:

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,21(0,279 - 0,2) + 0,279^2 \right] = 0,547$$

-faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,547 + \sqrt{0,547^2 - 0,279^2}} = 0,983$$

-otpornost na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,983 \cdot \frac{66,2 \cdot 27,5}{1,1} = 1625,94 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1205,57}{1625,94} = 0,74 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

VLAČNI ELEMENT:

Postupak dimenzioniranja nije potrebno provesti jer je vlačna sila donjeg pojasa manja od tlačne.

Iskoristivost elementa iznosi 74 %.

Zaključak: Donji pojas rešetke izveden od profila 220x8 zadovoljava granično stanje nosivosti.

5.6. Dimenzioniranje ispune

Ispuna se dimenzionira kao tlačni (Slika 45) i vlačni element (Slika 46).



Slika 45: Tlačno opterećenje elementa

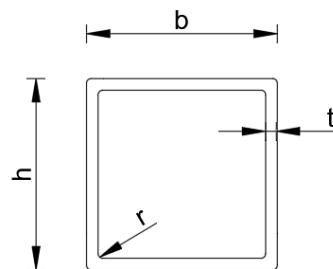


Slika 46: Vlačno opterećenje elementa

Pretpostavka profila: 140x6,3

Tablica 9: Podaci o profilu 140x6,3 (ispuna)

Profil	G	A	h	b	tw	tf	r	It	I	W	Wpl	i	AL
140x6,3	26	33,1	140	140	6,3	6,3	3,15	1533	977	140	165	5,44	0,545



Slika 47: Skica profila 140x6,3 (ispuna)

5.6.1. Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT – unutarnji element – tlak

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

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

$$\frac{h - 3t}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{140 - 3 \cdot 6,3}{6,3} \leq 33 \cdot 0,92$$

$$19,22 < 30,36$$

HRBAT – klasa 1

POJASNICA – unutarnji element – tlak – kvadratni presjek – isti rezultati

POJASNICA – klasa 1

Poprečni presjek je KLASE 1.

5.6.2. Otpornost poprečnog presjeka

TLAK:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33,1 \cdot 27,5}{1,0} = 910,25 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{590,76}{910,25} = 0,65 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

5.6.3. Otpornost elementa

IZVIJANJE:

-duljina izvijanja iznosi 3,01 m

-Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 977}{301^2} = 2235,02 \text{ kN}$$

-relativna vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{27,5 \cdot 33,1}{2235,02}} = 0,638$$

-očitan faktor imperfekcije koji zavisi od krivulje izvijanja: $\alpha = 0,21$ (mjerodavna krivulja izvijanja a)

-pomoćni koeficijent:

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,21(0,638 - 0,2) + 0,638^2 \right] = 0,750$$

-faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,750 + \sqrt{0,750^2 - 0,638^2}} = 0,874$$

-otpornost na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,874 \cdot \frac{33,1 \cdot 27,5}{1,1} = 724,00 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{590,76}{724,00} = 0,82 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

VLAČNI ELEMENT:

-otpornost bruto poprečnog presjeka:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33,1 \cdot 27,5}{1,0} = 910,25 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{590,76}{910,25} = 0,65 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

-otpornost neto poprečnog presjeka:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 33,1 \cdot 43,0}{1,25} = 1024,78 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

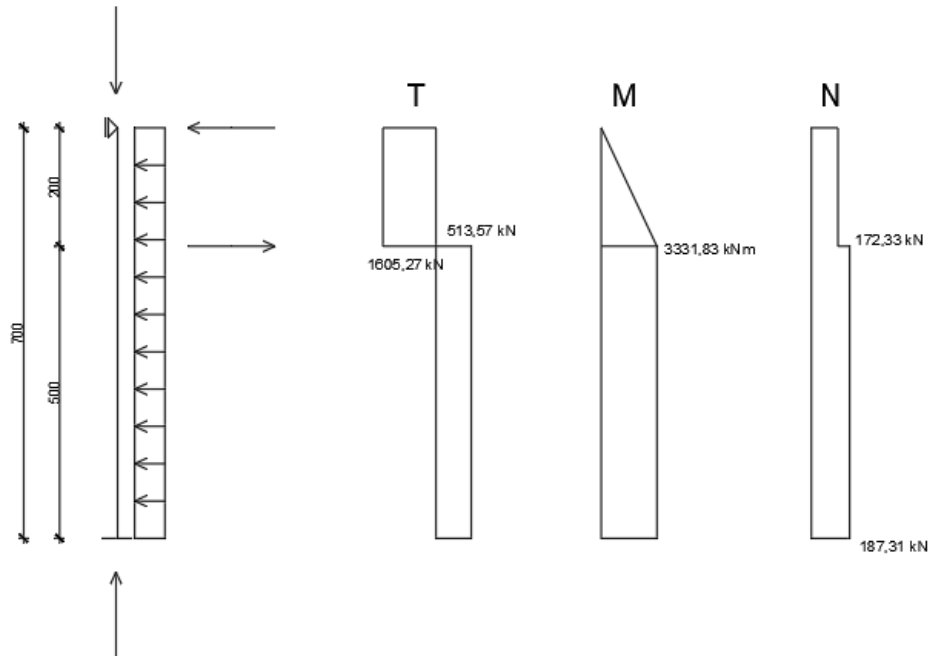
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{590,76}{1024,78} = 0,58 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa iznosi 65 %.

Zaključak: Ispuna rešetke izvedena od profila 140x6,3 zadovoljava granično stanje nosivosti.

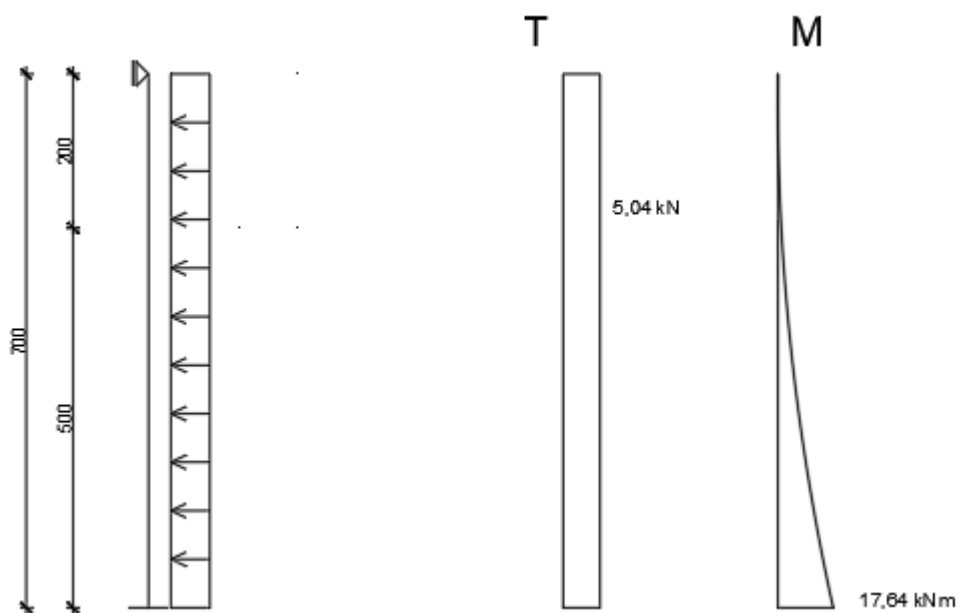
5.7. Dimenzioniranje stupa

Dijagrami unutarnjih sila i momenata savijanja u stupu od djelovanja glavnog nosača su:



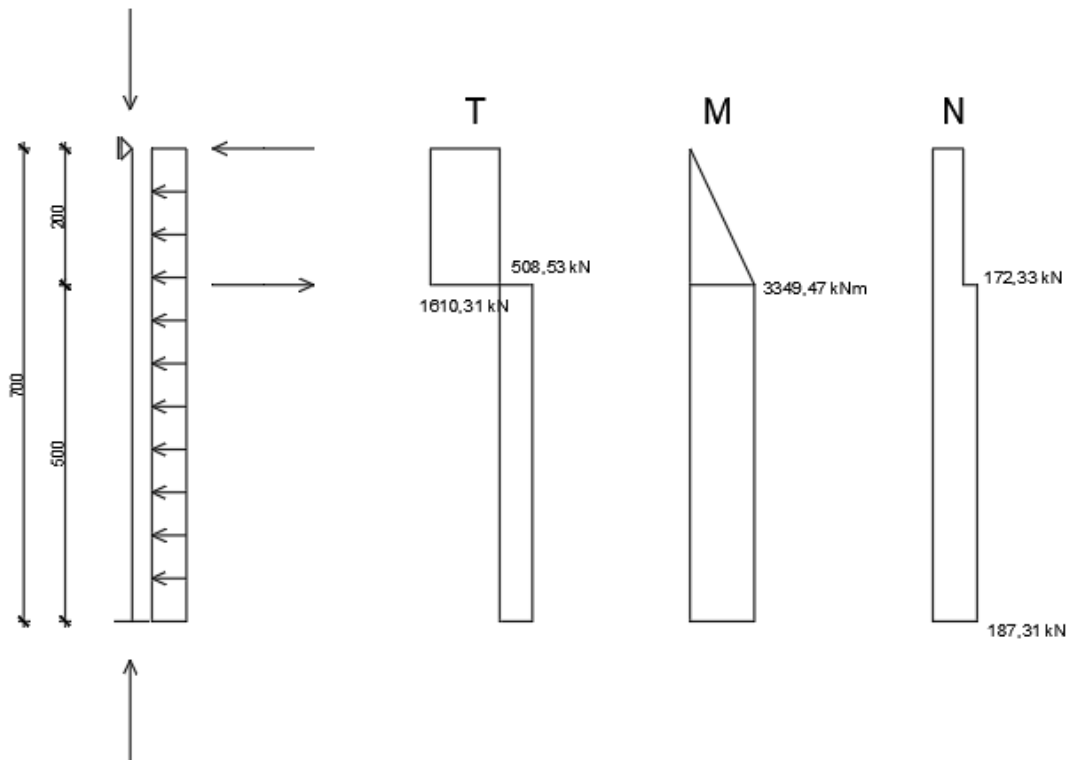
Slika 48: Unutarnje sile i momenti savijanja u stupu od djelovanja glavnog nosača

Dijagrami unutarnjih sila i momenata savijanja u stupu od djelovanja vjetra na stup su:



Slika 49: Unutarnje sile i momenti savijanja u stupu od djelovanja vjetra na stup

Mjerodavni dijagrami unutarnjih sila i momenata savijanja u stupu su:



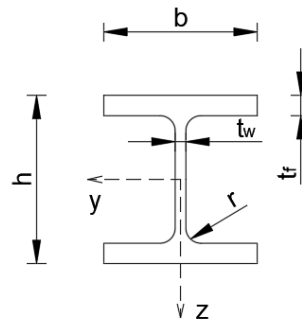
Slika 50: Unutarnje sile i momenti savijanja u stupu

Pretpostavka: HEM 1000

Tablica 10: Podaci o profilu HEM 1000 (stup)

Profil	G	A	h	b	tw	tf	r	It	Iw*10-3	Iy
HEM 1000	349	444,2	1008	302	21	40	30	1701	43020	722300

Profil	Wy	Wpl,y	iy	Av,z	Iz	Wz	Wpl,z	iz	Av,y
HEM 1000	14330	16570	40,32	235	18460	1222	1940	6,45	252,3



Slika 51: Skica profila HEM 1000 (stup)

5.7.1. Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT – unutarnji element – savijanje + tlak

Uvjet za klasu 1:

Proračun α :

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

$$a = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot f_y \cdot t_w} = \frac{187,31 \cdot 1,0}{2 \cdot 27,5 \cdot 2,1} = 1,62 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{h - 2r - 2t_f} \left(\frac{h - 2r - 2t_f}{2} + a \right)$$

$$\alpha = \frac{1}{100,8 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 4} \left(\frac{100,8 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 4}{2} + 1,62 \right) = 0,519 > 0,5$$

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

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

$$\frac{h - 2r - 2t_f}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{1008 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 40}{21} \leq \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,558 - 1}$$

$$41,33 < 58,25$$

HRBAT – klasa 1

POJASNICA – vanjski element – tlak

Uvjet za klasu 1:

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

$$\frac{(b - 2r - t_w)/2}{t_f} \leq 9\varepsilon$$

$$\frac{(302 - 2 \cdot 30 - 21)/2}{40} \leq 9 \cdot 0,92$$

$$2,76 < 8,28$$

POJASNICA – klasa 1

Poprečni presjek je KLASA 1.

5.7.2. Otpornost poprečnog presjeka

TLAK:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{444,2 \cdot 27,5}{1,0} = 12215,5 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{187,31}{12215,5} = 0,02 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

SAVIJANJE:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16570 \cdot 27,5}{1,0} = 455675 \text{ kNcm} = 4556,75 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{3349,47}{4556,75} = 0,74 < 1,0 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

POSMIK:

-provjera izbočivanja hrpta na posmik:

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

$$h_w = h - 2t_f = 1008 - 2 \cdot 40 = 928 \text{ mm}$$

$$\frac{928}{21} = 44,19 < 72 \frac{0,92}{1,2} = 55,2$$

Zadovoljava provjeru izbočivanja hrpta na posmik.

-plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{V,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{V,z} = 235 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 92,8 \cdot 2,1 = 233,86 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{235 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3}}}{1,0} = 3731,13 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{2118,84}{3731,13} = 0,57 < 1,0 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

INTERAKCIJA M–V:

$$V_{z,Ed} = 2118,84 \text{ kN} > 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 3731,13 = 1865,57 \text{ kN}$$

Redukcija plastične otpornosti:

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd}$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 2118,84}{3731,13} - 1 \right)^2 = 0,018$$

$$A_w = h_w \cdot t_w = 92,8 \cdot 2,1 = 194,88 \text{ cm}^2$$

$$M_{v,Rd} = \left(16570 - \frac{0,018 \cdot 194,88^2}{4 \cdot 2,1} \right) \cdot \frac{27,5}{1,0} = 4533,83 \text{ kNm} \leq M_{c,Rd} = 4556,75 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{v,Rd}} = \frac{3349,47}{4533,83} = 0,74 < 1,0 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

INTERAKCIJA M–N:

$$N_{Ed} = 187,31 \text{ kN} < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 12215,5 = 3053,88 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 187,31 \text{ kN} < \frac{0,5h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 92,8 \cdot 2,1 \cdot 27,5}{1,0} = 2679,60 \text{ kN}$$

Nema redukcije plastične otpornosti.

5.7.3. Otpornost elementa

IZVIJANJE – os y-y:

-duljina izvijanja prema slici (Slika 50) iznosi: $L_{cr} = 0,7 L = 0,7 \cdot 7,0 = 4,9 \text{ m}$

-Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 722300}{490^2} = 623511,54 \text{ kN}$$

-relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{27,5 \cdot 444,2}{623511,54}} = 0,140 < 0,2 \rightarrow \chi_y = 1$$

-otpornost na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot \frac{444,2 \cdot 27,5}{1,1} = 11105 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{187,31}{11105} = 0,02 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

IZVIJANJE – os z-z:

-duljina izvijanja prema slici (Slika 50) iznosi: $L_{cr} = 0,7 L = 0,7 \cdot 5,0 = 3,5 \text{ m}$

-Eulerova kritična sila izvijanja:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 18460}{350^2} = 31233,07 \text{ kN}$$

-relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{27,5 \cdot 444,2}{31233,07}} = 0,625$$

-očitan faktor imperfekcije koji zavisi od krivulje izvijanja: $\alpha = 0,34$ (mjerodavna krivulja izvijanja b)

-pomoćni koeficijent:

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5[1 + 0,34(0,625 - 0,2) + 0,625^2] = 0,768$$

-faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,768 + \sqrt{0,768^2 - 0,625^2}} = 0,824$$

-otpornost na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,824 \cdot \frac{444,2 \cdot 27,5}{1,1} = 9151,81 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{187,31}{9151,81} = 0,02 \leq 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

BOČNO – TORZIJSKO IZVIJANJE:

-očitan faktor: $C_1 = 1,77$

-elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

$$M_{cr} = 1,77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 18460}{500^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{43020000}{18460} + \frac{500^2 \cdot 8100 \cdot 1701}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 18460}} \right]$$

$$M_{cr} = 1539692,79 \text{ kNcm} = 15396,93 \text{ kNm}$$

-bezdimenzionalna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{16570 \cdot 27,5}{1539692,79}} = 0,544$$

-očitan faktor imperfekcije koji zavisi od krivulje izvijanja: $\alpha_{LT} = 0,34$ (mjerodavna krivulja izvijanja b)

-faktor redukcije – opći slučaj:

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34(0,544 - 0,2) + 0,544^2 \right] = 0,706$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,706 + \sqrt{0,706^2 - 0,544^2}} = 0,864 \leq 1,0$$

-računska otpornost:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,864 \cdot \frac{16570 \cdot 27,5}{1,1} = 357988,62 \text{ kNcm} = 3579,89 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{Ed,polje}}{M_{b,Rd}} = \frac{3349,47}{3579,89} = 0,94 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

VLAČNI ELEMENT:

-otpornost bruto poprečnog presjeka:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{444,2 \cdot 27,5}{1,0} = 12215,5 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{530,67}{12215,5} = 0,04 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

-otpornost neto poprečnog presjeka:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 444,2 \cdot 43,0}{1,25} = 13752,43 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{530,67}{13752,43} = 0,03 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

INTERAKCIJA – METODA 2:

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

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

-određivanje interakcijskog faktora k_{ij} :

$$c_{my} = c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 > 0,4$$

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

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (0,140 - 0,2) \cdot \frac{187,31}{1 \cdot 11105} \right] \leq 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{187,31}{1 \cdot 11105} \right]$$

$$k_{yy} = 0,60 < 0,61 \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

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

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,625}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{187,31}{0,824 \cdot 9151,81} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{187,31}{0,824 \cdot 9151,81} \right]$$

$$k_{zy} = 0,99 = 0,99 \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

DOKAZ:

$$\frac{187,31}{1 \cdot 11105} + 0,61 \cdot \frac{3349,47}{0,864 \cdot 3579,89} \leq 1$$

$$0,68 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

$$\frac{187,31}{0,824 \cdot 9151,81} + 0,99 \frac{3349,47}{0,864 \cdot 3579,89} \leq 1$$

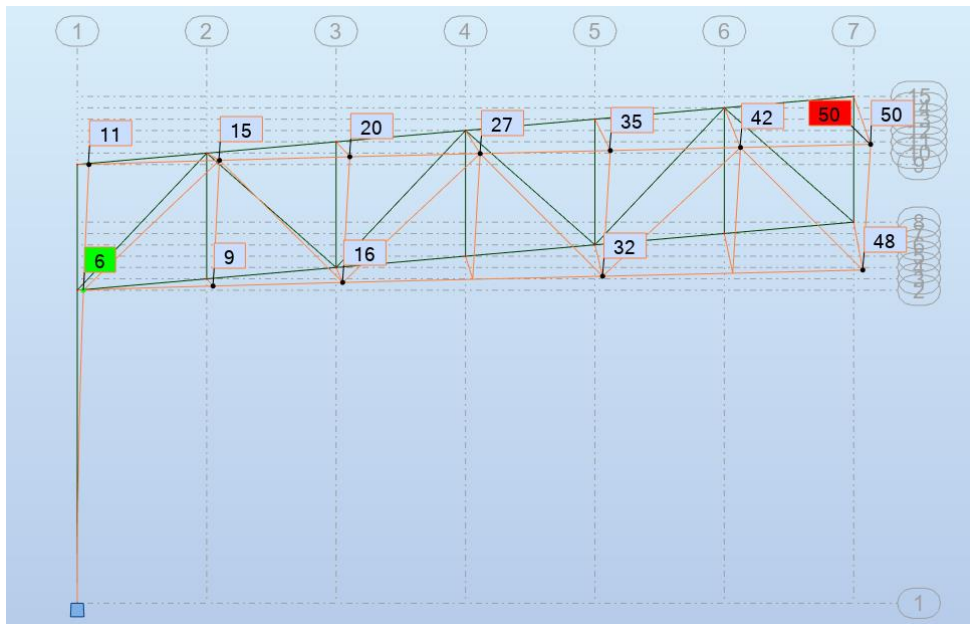
$$1,10 > 1 \rightarrow \text{Ne zadovoljava!}$$

Zaključak: Stup izveden od profila HEM 1000 ne zadovoljava granično stanje nosivosti.

5.8. Rezultati statičkog proračuna - GSU

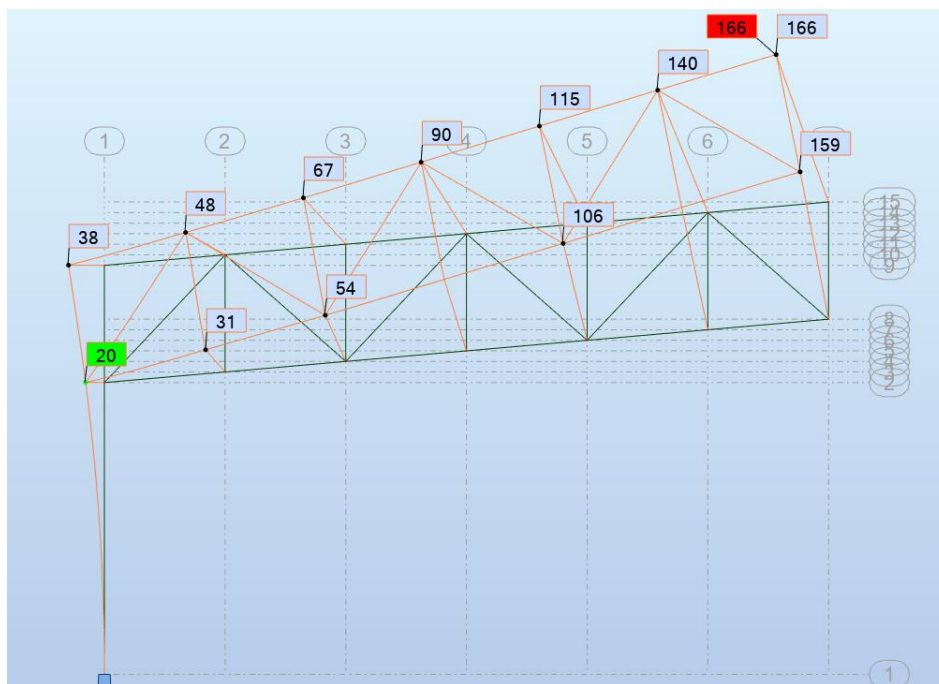
Pripadajući progibi za kombinacije djelovanja koje djeluju na glavni nosač za granično stanje uporabljivosti dobiveni iz statičkog proračuna su sljedeći:

Slučaj 3: Pritiskajuće djelovanje – GSU (COMB 3)



Slika 52: Deformacija nosača za pritiskajuće djelovanje

Slučaj 4: Odižuće djelovanje – GSU (COMB 4)



Slika 53: Deformacija nosača za odižuće djelovanje

Mjerodavni progibi su:

REŠETKASTI NOSAČ: 166 mm (COMB 4)

STUP – horizontalni pomak: 38 mm (COMB 4)

5.9. Provjera progiba rešetkastog nosača

Dozvoljeni progib rešetkastog nosača mora biti manji ili jednak od $L/200$, gdje je L duljina nosača.

$$\delta_{\text{očitano}} = 166 \text{ mm} > \delta_{\text{dop}} = L/200 = 12456/200 = 62,28 \text{ mm}$$

Dozvoljeni progib rešetkastog nosača od vlastite težine mora biti manji ili jednak od $L/200$, gdje je L duljina nosača.

$$\delta_{\text{očitano}} = 36 \text{ mm} < \delta_{\text{dop}} = L/200 = 12456/200 = 62,28 \text{ mm}$$

Zaključak: Rešetkasti nosač ne zadovoljava granično stanje uporabljivosti.

5.10. Provjera pomaka stupa

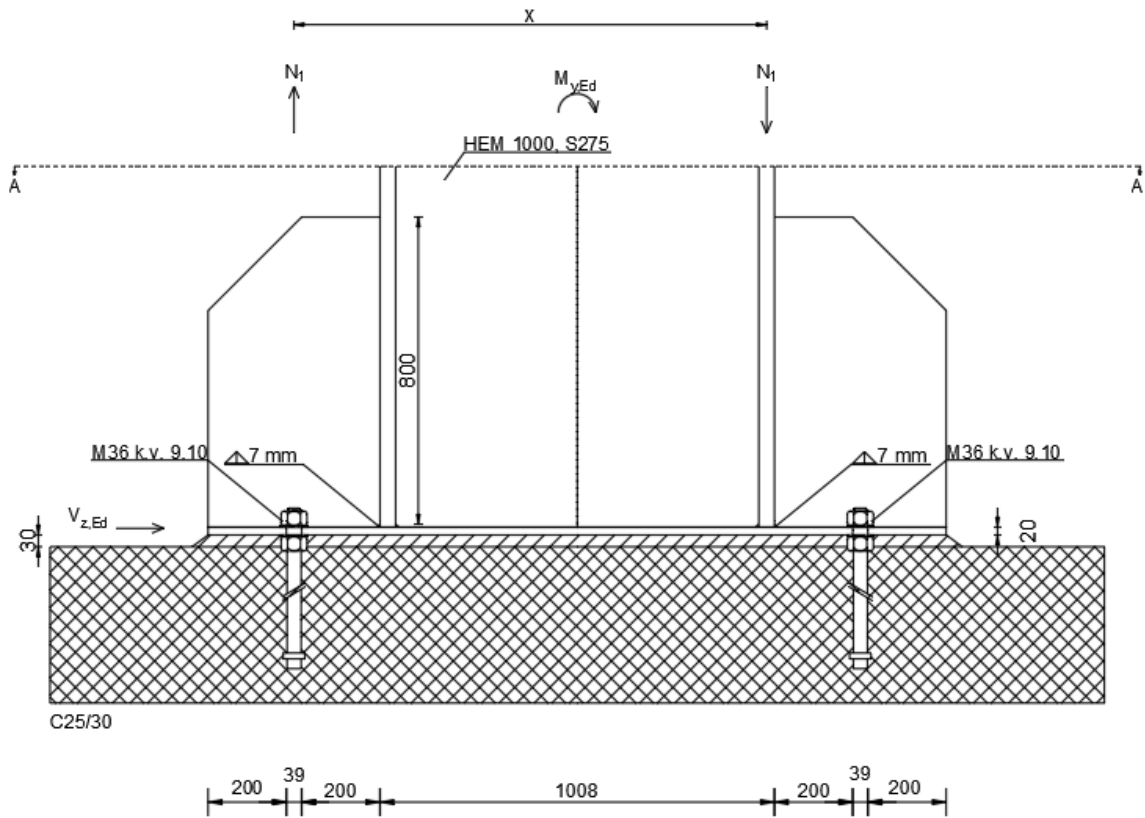
Dozvoljeni pomak stupa mora biti manji ili jednak od $H/250$, gdje je H visina stupa.

$$\delta_{\text{očitano}} = 38 \text{ mm} > \delta_{\text{dop}} = H/250 = 7000/250 = 28 \text{ mm}$$

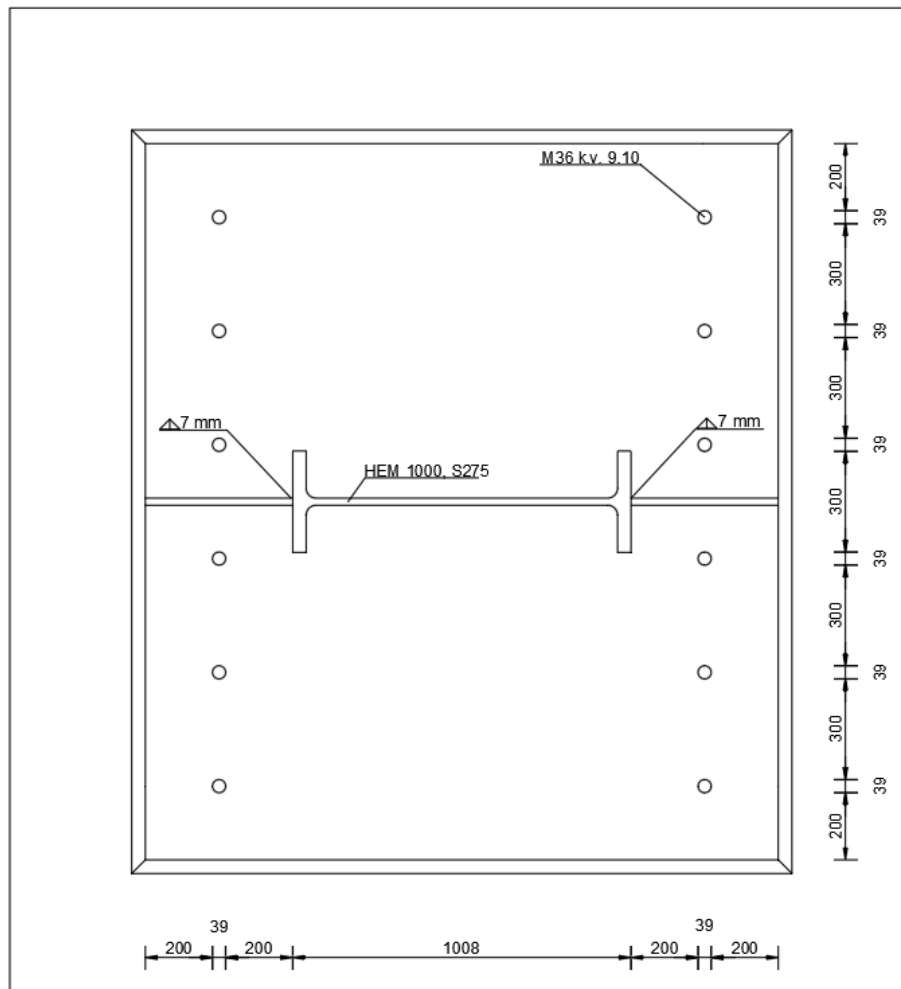
Zaključak: Stup ne zadovoljava granično stanje uporabljivosti.

6. PRORAČUN SPOJEVA

6.1. Stup na temelj



Slika 54: Spoj stupa na temelj (nacrt)



Slika 55: Spoj stupa na temelj (tlocrt)

Spoj je opterećen momentom savijanja koji djeluje kao spreg sila i posmičnom silom. Odabrani su vijci M36 k.v. 10.9. U spoju se nalazi 12 komada vijaka. Debljina ležajne ploče iznosi 20 mm, a debljina morta za podlijevanje 30 mm.

6.1.1. Proračun vijaka

-VLAK:

$$X_1 = 1886 - 200 - 439 - \frac{40}{2} - \frac{39}{2} = 1207,5 \text{ mm} = 1,21 \text{ m}$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{X_1} = \frac{3349,47}{1,21} = 2768,16 \text{ kN}$$

-za 1 vijak:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 8,17}{1,25} = 588,24 \text{ kN}$$

-za spoj:

$$\overline{F_{t,Rd}} = 6 \cdot F_{t,Rd} = 6 \cdot 588,24 = 3529,44 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_1}{\overline{F_{t,Rd}}} = \frac{2768,16}{3529,44} = 0,78 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

-POSMIK:

-za 1 vijak i 1 reznu površinu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 8,17}{1,25} = 326,80 \text{ kN}$$

-za spoj:

$$\overline{F_{v,Rd}} = m \cdot n \cdot F_{v,Rd} = 1 \cdot 12 \cdot 326,80 = 3921,60 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{\overline{F_{v,Rd}}} = \frac{518,61}{3921,60} = 0,13 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

-PRITISAK PO OMOTAČU RUPE OSNOVNOG MATERIJALA:

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

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{200}{39} - 1,7; 2,5\right) = \min(12,66; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{200}{3 \cdot 39} = 1,71$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(1,71; \frac{1000}{430}; 1\right) = \min(1,71; 2,33; 1) = 1$$

-za 1 omotač rupe:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 43 \cdot 3,9 \cdot 2,0}{1,25} = 670,8 \text{ kN}$$

-za sve rupe:

$$\overline{F_{b,Rd}} = 12 \cdot 670,8 = 8049,6 \text{ kN}$$

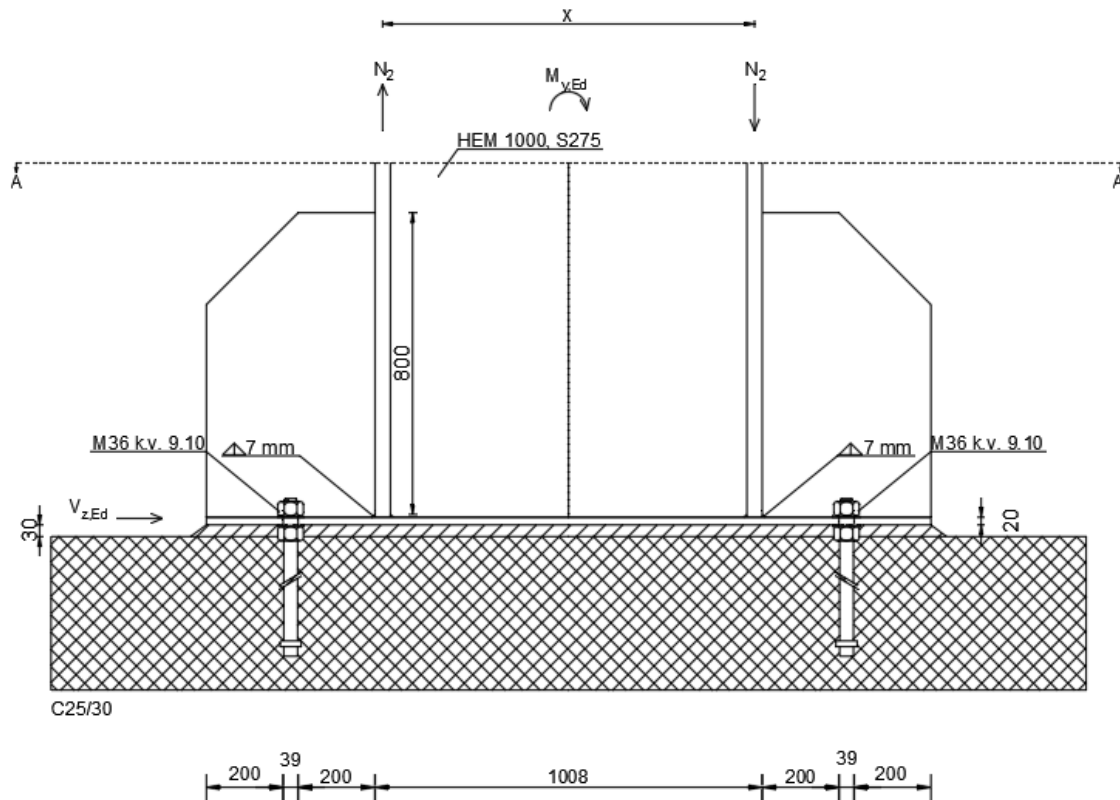
UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{518,61}{8049,6} = 0,06 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

-INTERAKCIJA POSMIKA I VLAKA za 1 vijak:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{518,61/12}{326,80} + \frac{2768,16/6}{1,4 \cdot 588,24} = 0,69 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

6.1.2. Proračun zavarava



Slika 56: Spoj stupa na temelj – prikaz rastavljanja momenta savijanja na spreg sila

Za proračun zavarava na koji djeluje moment savijanja uzimamo u obzir samo zavarava koji su vlačno opterećeni.

$$X_2 = h - t_f = 1008 - 40 = 968 \text{ mm} = 0,968 \text{ m}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{X_2} = \frac{3349,47}{0,968} = 3460,20 \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2} = \sqrt{\left(\frac{518,61}{2}\right)^2 + 3460,2^2} = 3469,90 \text{ kN}$$

-za 1 centimetar zavarava:

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot \alpha}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3} \cdot 0,85} \cdot 0,7}{1,25} = 16,36 \text{ kN}$$

-za zavare:

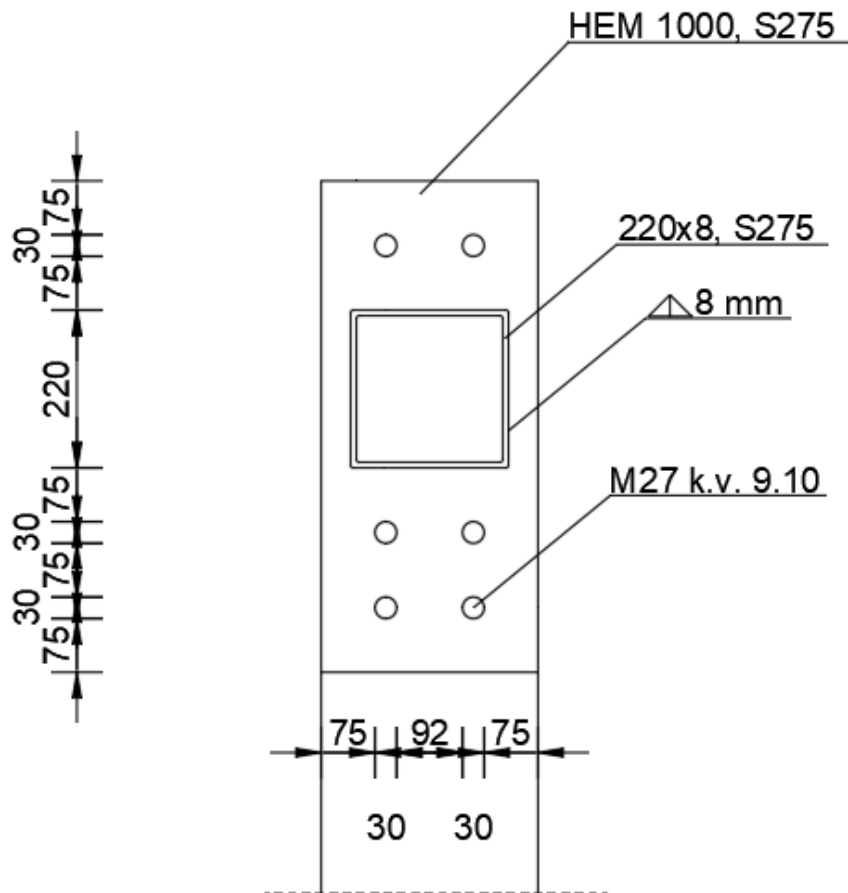
$$\overline{F}_{w,Rd} = \sum L \cdot F_{w,Rd} = 218 \cdot 16,36 = 3566,48 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

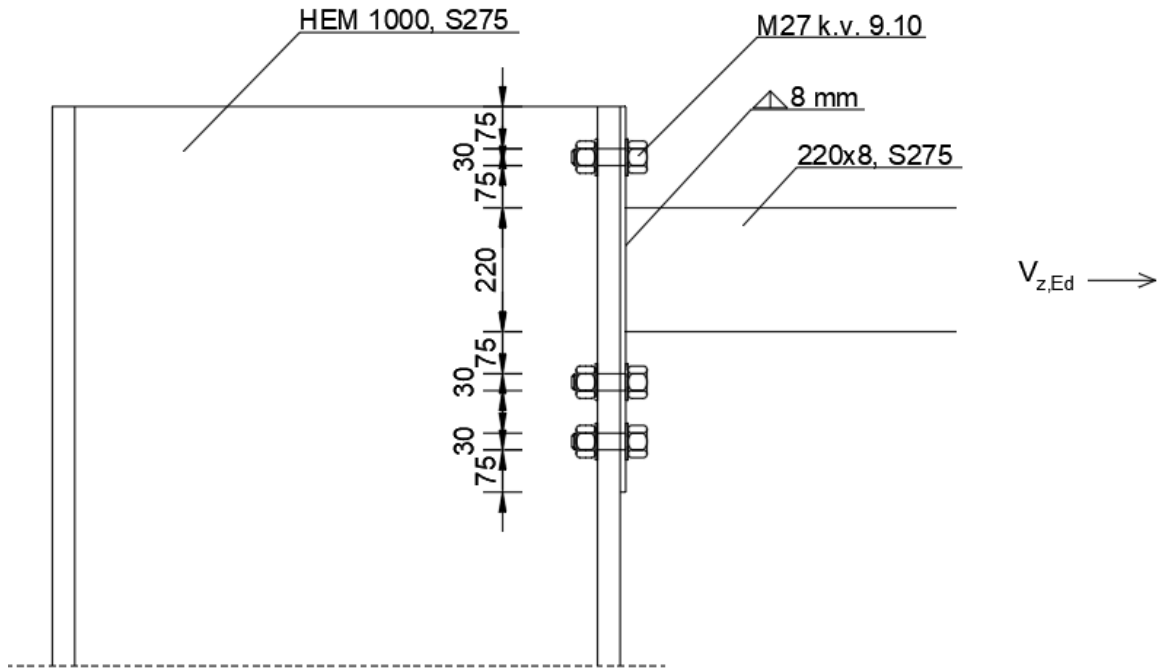
$$\frac{F_{w,Ed}}{\overline{F}_{w,Rd}} = \frac{3460,2}{3566,48} = 0,97 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

6.2. Gornji pojas rešetke na stup

6.2.1. Proračun vijaka



Slika 57: Spoj gornjeg pojasa rešetke i stupa (nacrt)



Slika 58: Spoj gornjeg pojasa rešetke stupa (bokocrt)

-VLAK:

-za 1 vijak:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 4,59}{1,25} = 330,48 \text{ kN}$$

-za spoj:

$$\overline{F}_{t,Rd} = 6 \cdot F_{t,Rd} = 6 \cdot 330,48 = 1982,88 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{F_{z,Ed}}{\overline{F}_{t,Rd}} = \frac{1610,31}{1982,88} = 0,81 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

6.2.2. Proračun zavora

-za 1 centimetar zavora:

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot \alpha}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{43}{\sqrt{3} \cdot 0,85} \cdot 0,8}{1,25} = 18,69 \text{ kN}$$

-za zavare:

$$\overline{F}_{w,Rd} = \sum L \cdot F_{w,Rd} = 88,0 \cdot 18,69 = 1644,95 \text{ kN}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{V_{z,Ed}}{\overline{F}_{w,Rd}} = \frac{1610,31}{1644,95} = 0,98 < 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

7. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan proračun dimenzioniranja elemenata i spojeva čelične konstrukcije prema mjerodavnim vrijednostima dobivenih iz statičkih proračuna definiranih kombinacija djelovanja za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti.

Na temelju provedenog proračuna utvrđeno je da rešetkasti nosač zadovoljava granično stanje nosivosti, stup ne zadovoljava granično stanje nosivosti, a i stup i rešetkasti nosač ne zadovoljavaju granično stanje uporabljivosti.

Moguće je povećanje presjeka elemenata rešetke što bi povećalo vlastitu težinu konstrukcije i smanjilo progib rešetke kritičnog odižućeg djelovanja. Stup je dimenzioniran s najvećim tipskim punostjenim profilom HEM 1000. Povećanje presjeka može se ostvariti izvođenjem sastavljanog poprečnog presjeka spajanjem tipskih profila (rezanjem i međusobnim zavarivanjem). Alternativno, i u ovom konkretnom slučaju optimalno, rješenje, bio bi stup u rešetkastoj izvedbi ili prostorna rešetkasta konstrukcija.

Nadalje, dobiveni zadovoljavajući spoj stupa s temeljem je preglomaznih dimenzija za izvedbu u stvarnosti. Zauzima bi puno mjesta autobusima i putnicima te bio krajnje nepraktičan za predviđenu namjenu.

U radu je uzet u obzir utjecaj horizontalnog djelovanja vjetra poprečno na konstrukciju. Djelovanje vjetra u smjeru uzdužnom na konstrukciju nije uzeto u obzir jer izlazi iz opsega ovog rada. U postupku analize djelovanja potrebno je uzeti u obzir utjecaj horizontalnog djelovanja u uzdužnom smjeru konstrukcije te utvrditi njegov učinak na stabilnost konstrukcije.

Ovim radom je zaključeno da izvođenje konstrukcije s ovakvim sustavom (rešetkasti nosač s punostjenim stupom) sa zadanim dimenzijama raspona, nije preporučljivo rješenje za izvedbu. Sami elementi konstrukcije su premasivni i nepraktični za namjenu autobusnog kolodvora te granično stanje uporabljivosti nije zadovoljeno. Predlaže se prijelaz na kompletnu rešetkastu konstrukciju gdje će se preuzimanje i prijenos opterećenja moći ostvariti pritom ne narušavajući estetske zahtjeve i zahtjeve korištenja te uz racionalniju upotrebu materijala.

8. LITERATURA

- [1] HRN EN 1991-1-4:2012 Eurocode 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [2] Katalog solarnih panela. [internet], <raspoloživo na: https://solvis.hr/wp-content/uploads/2022/03/LQSOLVIS-DS-HR-SV144_E_HC9B-2094x1038x35-435-455-20210222.pdf>, [1.6.2022.]
- [3] Kalkulator izračuna dnevne količine energije. [internet], <raspoloživo na: <https://www.suncica.co.rs/kalkulator>>, [1.6.2022.]
- [4] HRN EN 1991-1-3:2012 Eurocode 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 Eurocode 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 Eurocode 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 Eurocode 1: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [8] EN 1993-1-1: 2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, B-1050 Brussels, 2005.
- [9] Robot Structural Analysis Professional 2023, BIM structural analysis software for engineers, Autodesk, student version. [internet], <raspoloživo na: <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>>, [2.7.2022.]
- [10] AutoCAD 2023, Software for 2D and 3D CAD, Autodesk, student version. [internet], <raspoloživo na: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>>, [20.7.2022.]
- [11] Krolo P., Materijali s predavanja, Osnove čeličnih konstrukcija, Građevinski fakultet u Rijeci, 2021.
- [12] Skejić, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije priručnik, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015.

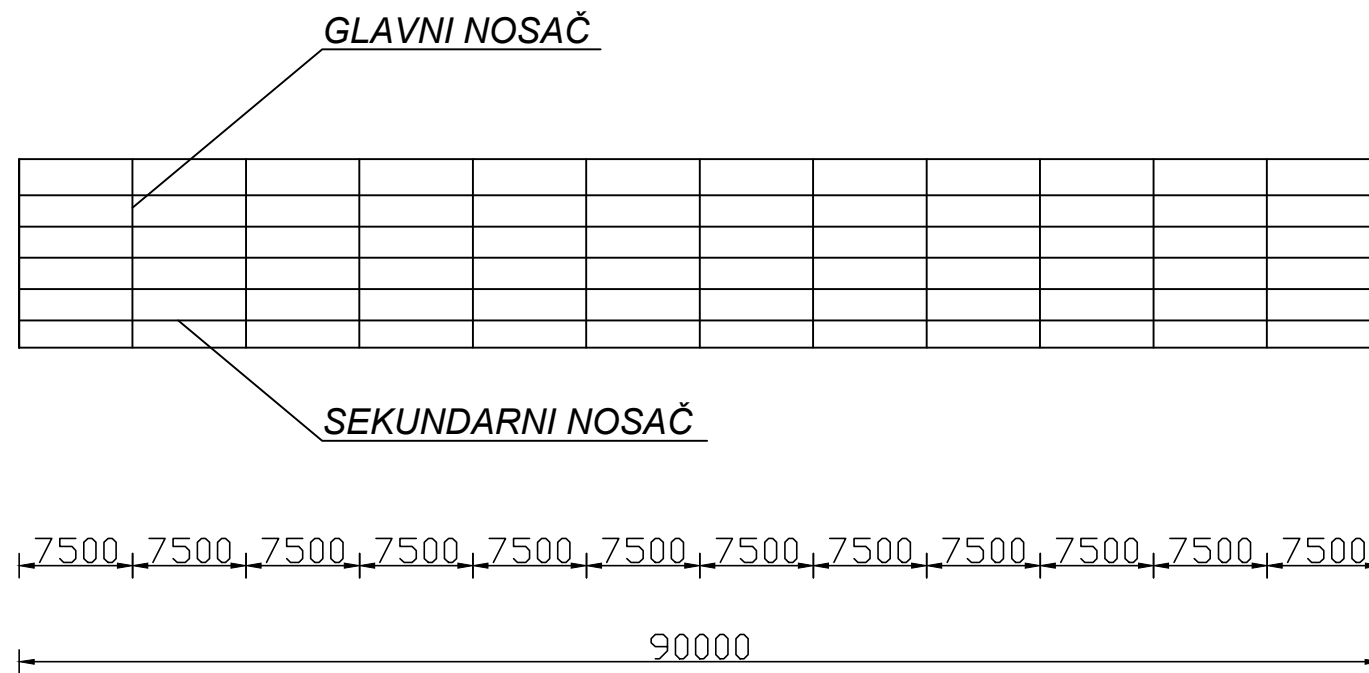
[13] Androjić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije 1, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.

[14] Androjić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije 2, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.

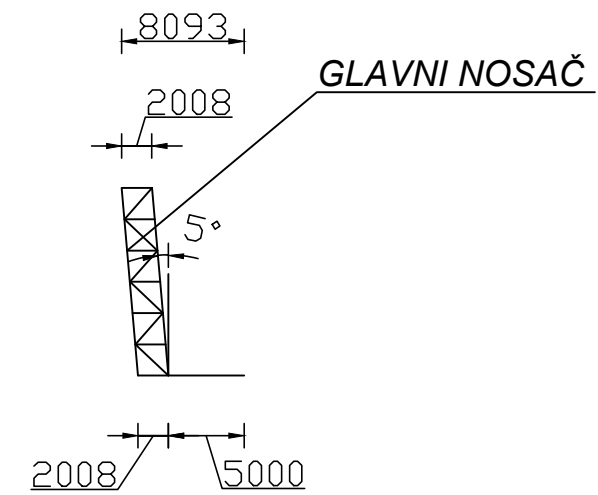
[15] Androjić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Metalne konstrukcije 3, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.

[16] Katalog sendvič panela od poliuretana. [internet], <raspoloživo na: <https://sendvic-paneli.com/wp-content/uploads/2017/11/Sendvi%C4%8D-paneli-sa-ispunom-PUR.pdf>>, [30.8.2022.]

TLOCRTNA DISPOZICIJA M 1:500

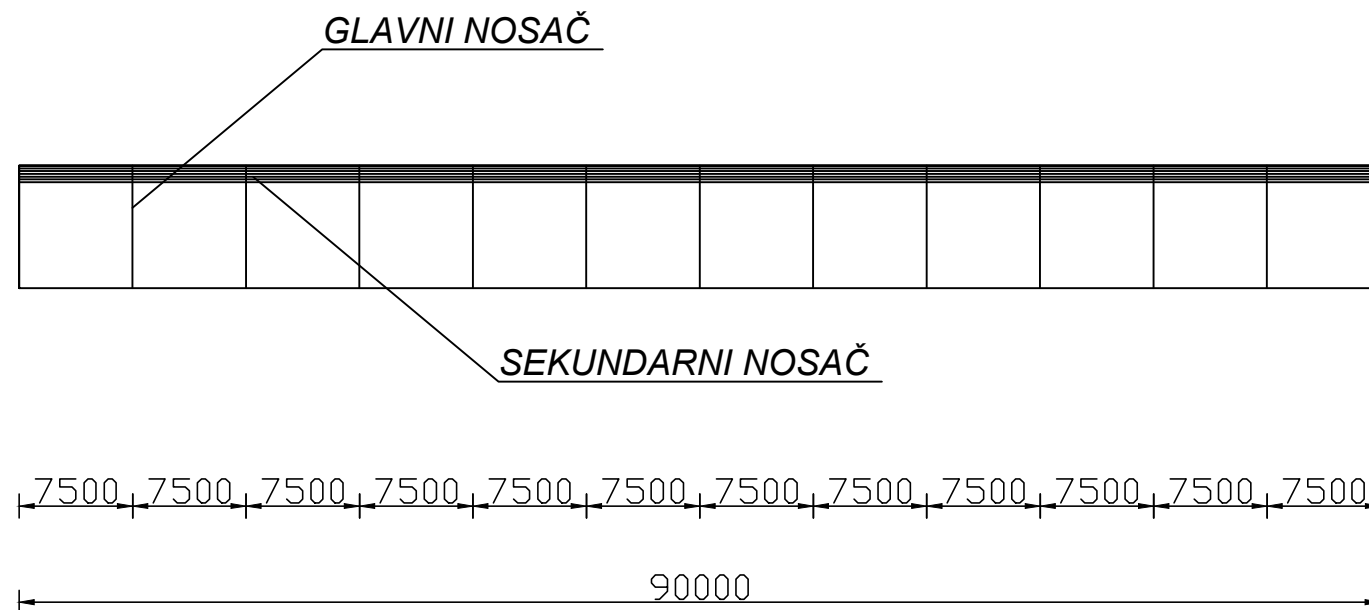


12456



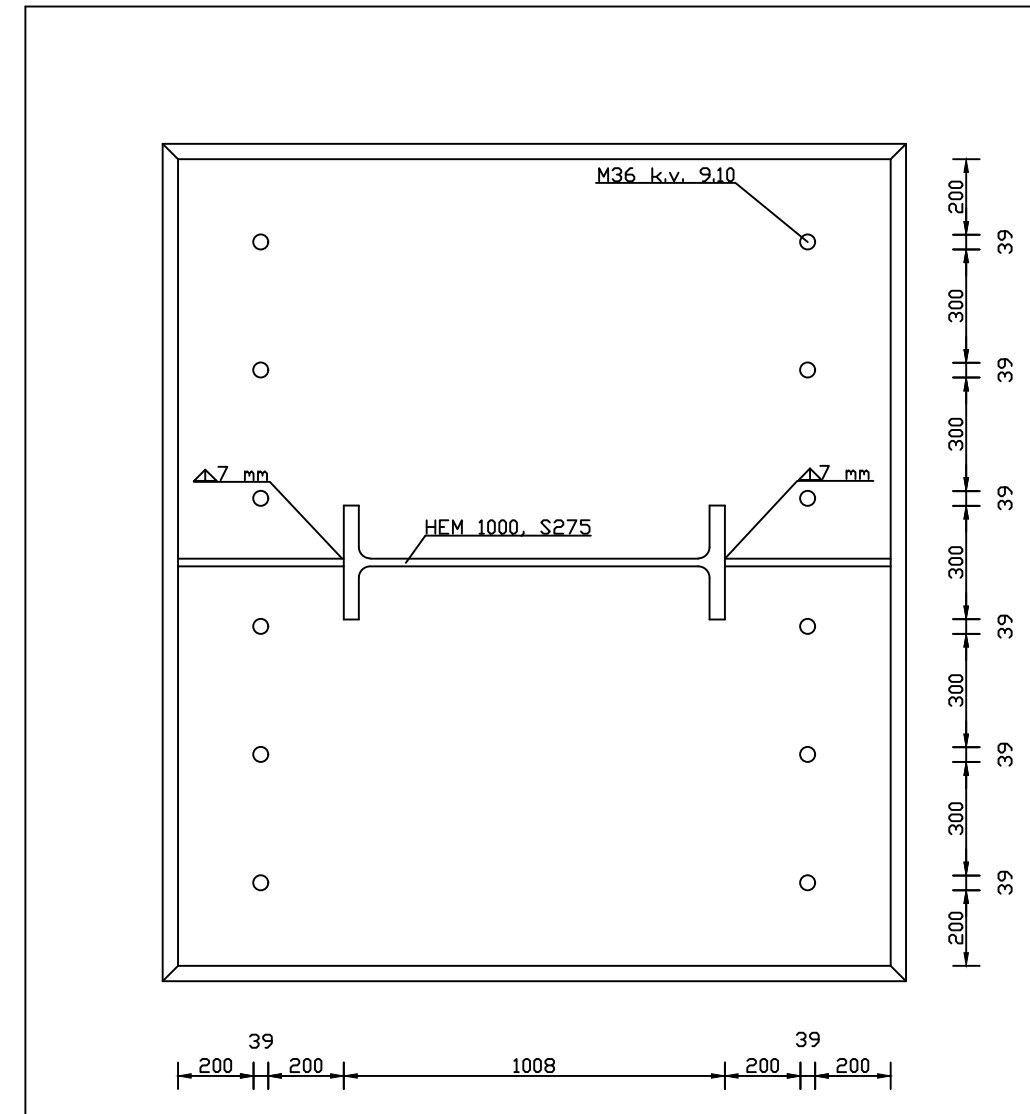
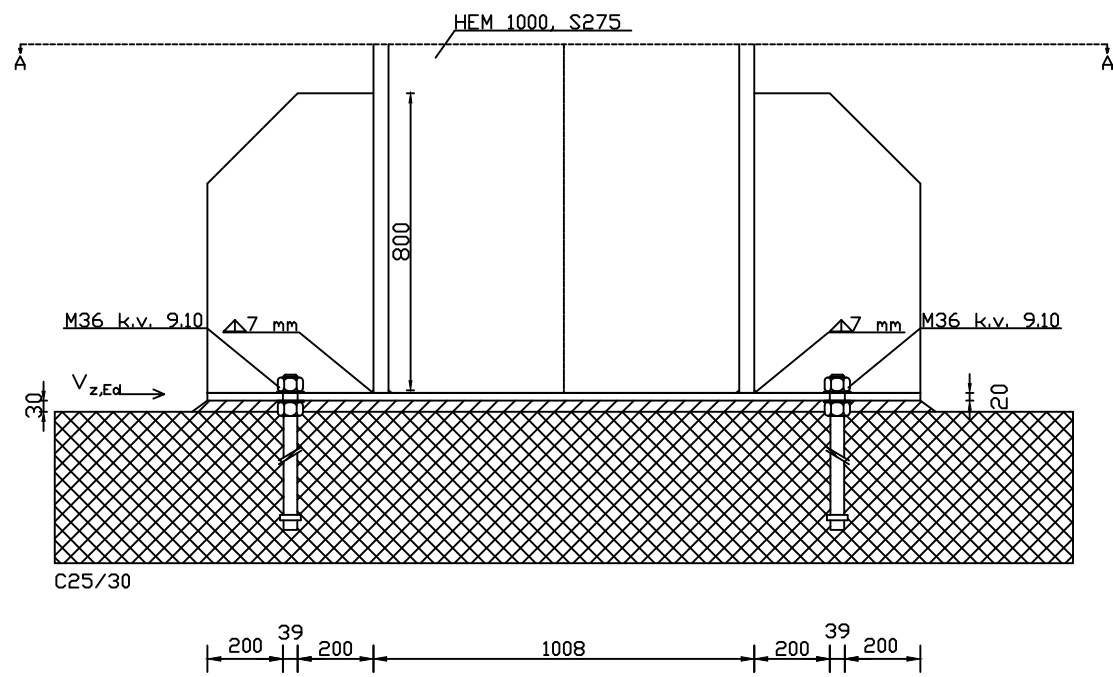
POPREČNI POGLED M 1:500

UZDUŽNI POGLED M 1:500



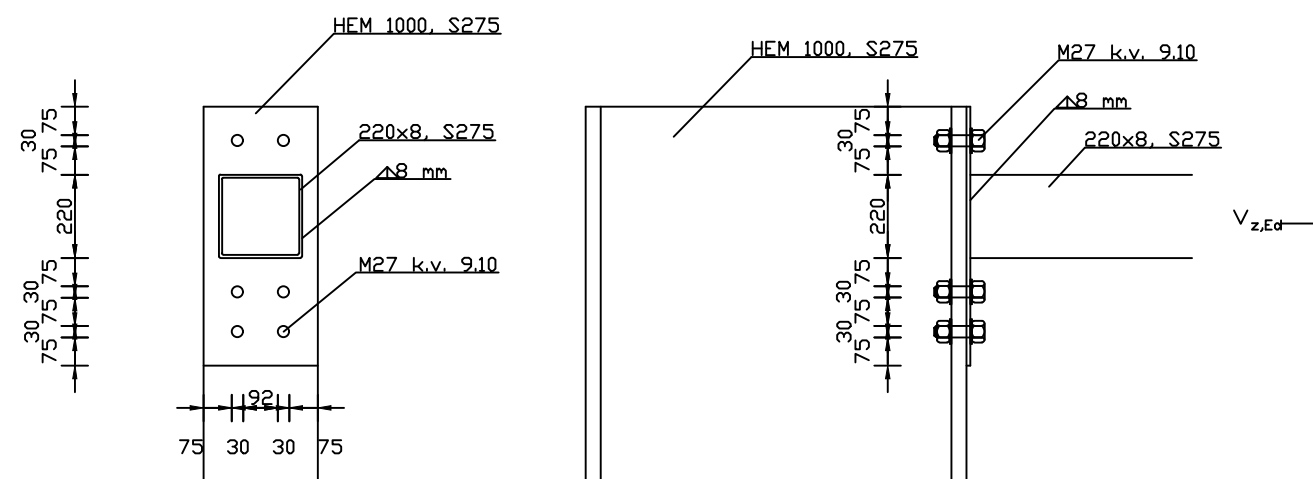
GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima		Sadržaj: Tlocrtna dispozicija, uzdužni pogled i poprečni pogled na nadstrešnicu	
Student: Vanesa Antolović		Kolegij: Osnove čeličnih konstrukcija	
Mentor: doc.dr.sc., Paulina Krolo	Datum: 09/22	Mjerilo: 1:500	List: 1

DETALJ SPOJA STUPA NA TEMELJ M 1:20



<p>GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</p>			
<p>Završni rad Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima</p>		<p>Sadržaj: Detalj spoja stupa na temelj</p>	
<p>Student: Vanesa Antolović</p>		<p>Kolegij: Osnove čeličnih konstrukcija</p>	
<p>Mentor: doc.dr.sc., Paulina Krolo</p>		<p>Datum: 09/22</p>	<p>Mjerilo: 1:20</p>
		<p>List: 2</p>	

DETALJ SPOJA KOSE PREČKE NA STUP M 1:20



GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad Proračun čelične konstrukcije konzolne nadstrešnice s rešetkastim nosačima		Sadržaj: Detalj spoja kose prečke na stup	
Student: Vanesa Antolović		Kolegij: Osnove čeličnih konstrukcija	
Mentor: doc.dr.sc., Paulina Krolo	Datum: 09/22	Mjerilo: 1:20	List: 3