

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Brečić, Anđela

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:116949>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Anđela Brečić

Split, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Anđela Brečić

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Anđela Brečić

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083225906

KATEDRA: **Katedra za metalne i drvene konstrukcije**

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: **Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale**

Opis zadatka: Prema zadanim podacima potrebno je dimenzionirati čeličnu halu koja se sastoji od glavne nosive konstrukcije, sekundarnih nosača te spregova konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 355

Lokacija objekta: Zagreb

Razmak okvira: 4,8 (m)

U Splitu, 15.3.2023.

Voditelj Završnog rada: Dr. sc. Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije.

Ključne riječi:

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, rešetka, stup, podrožnice, spregovi, dimenzioniranje, spojevi.

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Our assignment is to calculate design of a steel manufacturing hall according to the given data. Steel hall consists of main supporting structure, secondary structure and bracings. The hall is located in Zagreb and the main loads are snow and wind.

Keywords:

Steel, hall, load-bearing structure, grating, column, purlins, bracings, design, joints

Sadržaj

1. TEHNIČKI OPIS	7
1.1. Opis konstrukcije	7
1.1.1. Geometrija	7
1.1.2. Konstruktivni elementi	9
1.1.3. Spojevi	9
1.2. O proračunu konstrukcije	10
1.3. Materijali za izradu konstrukcije	10
1.4. Primjenjeni propisi	11
1.5. Antikorozijska zaštita	11
1.6. Zaštita od požara	11
1.7. Montaža i transport	11
2. ANALIZA OPTEREĆENJA	13
2.1. Stalno opterećenje	13
2.2. Pokretno opterećenje	14
2.2.1. Djelovanje snijega	14
2.2.2. Djelovanje vjetra	16
3. KONTROLA PROGIBA	26
3.1. Vertikalni progib	26
3.2. Horizontalni progib	27
4. DIJAGRAMI SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA – GSN	28
4.1. Glavna nosiva konstrukcija	28
4.1.1. Prva kombinacija	28
4.1.2. Druga kombinacija	29
4.1.3. Treća kombinacija	30
4.2. Sekundarna konstrukcija	32
4.2.1. Krovna podrožnica	32
4.2.2. Bočna podrožnica	39
4.2.3. Zabatni stupovi	44
4.2.4. Krovni spregovi	46
4.2.5. Bočni spregovi	47
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE PREMA GSN	49
5.1. Glavna nosiva konstrukcija	49
5.1.1. Gornji pojas rešetke	49

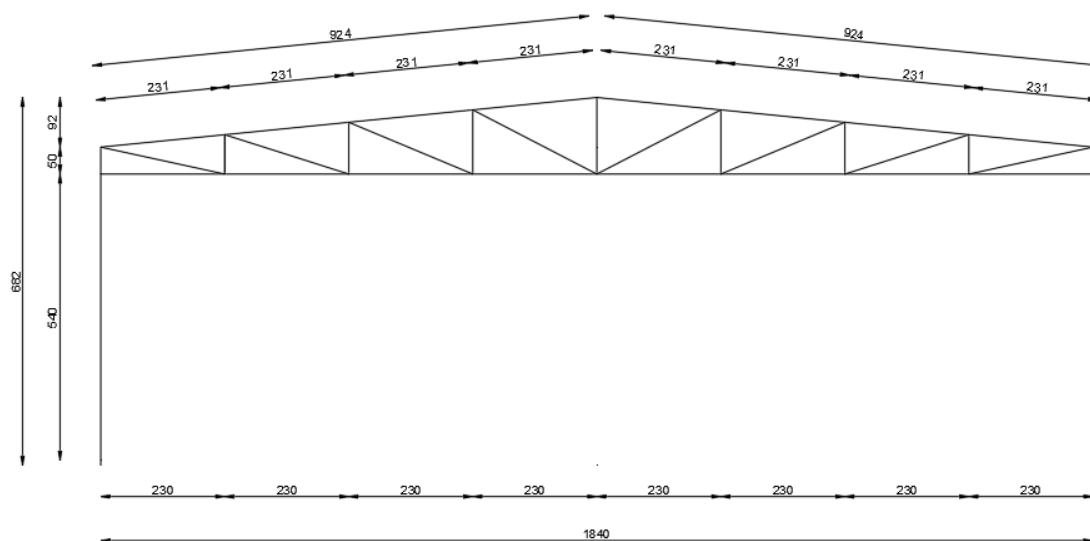
5.1.2.	Donji pojas rešetke.....	51
5.1.3.	Dijagonale rešetke.....	52
5.1.4.	Vertikale rešetke	53
5.1.5.	Stupovi okvira.....	55
5.2.	Sekundarna konstrukcija.....	61
5.2.1.	Krovna podrožnica.....	61
5.2.2.	Bočna podrožnica	66
5.2.3.	Zabatni stupovi.....	70
5.2.4.	Krovni spregovi.....	73
5.2.5.	Bočni spregovi	75
5.3.	Iskaz upotrijebljenih profila	77
6.	DIMENZIONIRANJE SPOJEVA KONSTRUKCIJE	78
6.1.	Upeti spoj temelj – stup.....	78
6.2.	Spoj stup-rešetka.....	84
6.3.	Vlačni nastavak rešetke donjeg pojasa	87
6.4.	Nastavak gornjeg pojasa rešetke.....	89
6.5.	Nastavak krovne podrožnice	91
6.6.	Spoj krovne podrožnice na gornji pojas	95
7.	DIMENZIONIRANJE TEMELJA	97
8.	NACRTI.....	101
9.	LITERATURA.....	102

1. TEHNIČKI OPIS

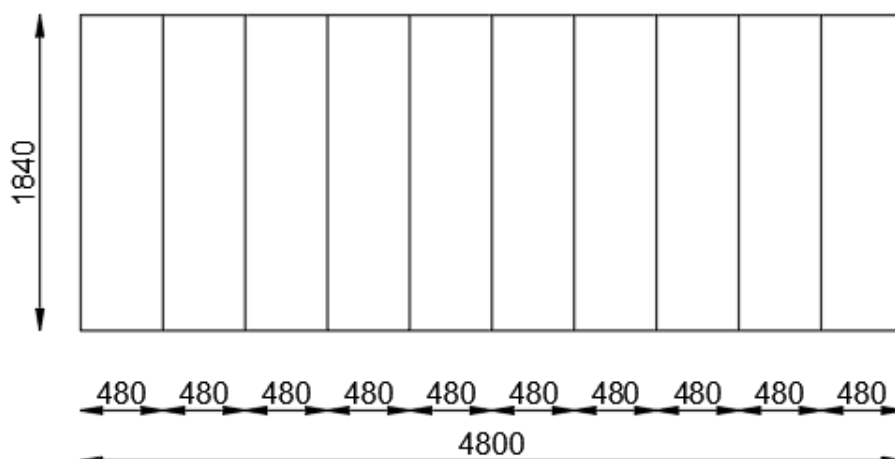
1.1. Opis konstrukcije

1.1.1. Geometrija

Građevina se nalazi na području grada Zagreba na nadmorskoj visini do 100 (m). Proračun se vrši za kategoriju terena IV. Dimenzije tlocrta iznose $18,4 * 48$ (m), dok je visina građevine 6,82 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 5,711^\circ$, što je ekvivalentno nagibu od 10%. Projektirana je za višenamjensku uporabu. Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 11 ravninskih okvira na međusobnom osnom razmaku od 4,8 (m).



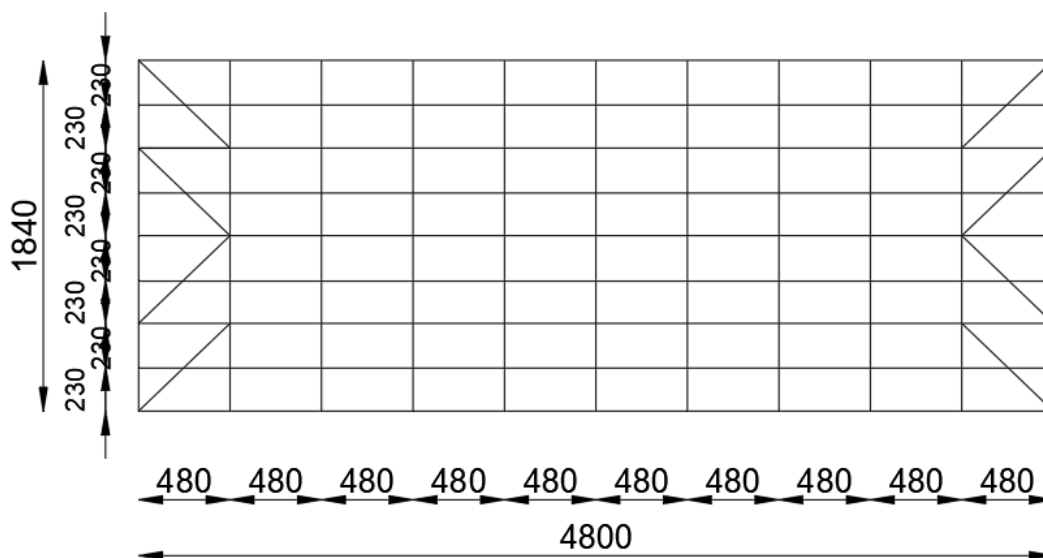
Slika 1.1 Glavni nosač



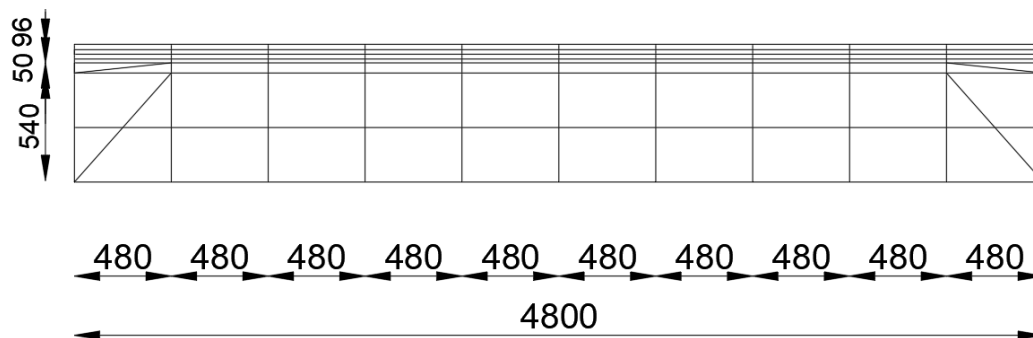
Slika 1.2 Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,31 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,7 (m).

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



Slika 1.3 Prikaz krovnih spregova i krovnih podrožnica konstrukcije



Slika 1.4 Prikaz bočnih spregova i bočnih podrožnica

1.1.2. Konstruktivni elementi

1.1.2.1. Glavna rešetka

Glavne rešetke su dimenzionirane da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenja od snijega i vjetra. Profili gornjeg i donjeg pojasa su kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 90/90/4 (mm) te SHS 90/90/12 (mm) spojeni u čvorovima. Profili vertikala su kvadratnog šupljeg presjeka SHS 40/40/5 (mm) osim krajnjih vanjskih vertikala koje su dimenzija HEA 120 (mm), dok su profili dijagonala pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 40/40/5 (mm).

1.1.2.2. Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi valjanih I profila HEA 120 ukupne dužine 5,4 (m).

1.1.2.3. Sekundarni krovni nosači

Proračunom su odabrani sekundarni krovni nosači (podrožnice) valjanih I profila IPE 140.

1.1.2.4. Sekundarni bočni nosači

Proračunom su odabrani sekundarni krovni nosači (podrožnice) valjanih I profila IPE 120.

1.1.2.5. Spregovi

Kao dijagonale krovnog i bočnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 12 (mm). U krovnom spregu se zbog tlačne sile odabiru vertikale šupljeg okruglog poprečnog presjeka, CFCHS 60.3x5.

1.1.3. Spojevi

1.1.3.1. Spoj stup-temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 400x200x30(mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M20 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

1.1.3.2. Spoj stup-rešetka

Spoj donje pojasnice grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 250x200x10 (mm) i vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.1.3.3. Vlačni nastavak rešetke donjeg pojasa

Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 272x272x10 (mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M20 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.1.1.1. Nastavak gornjeg pojasa rešetke

Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 200x150x10 (mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.1.1.2. Nastavak krovne podrožnice

Spoj se izvodi navarivanjem ploče dimenzija 250x150x10 (mm) na krajeve podrožnica međusobno pričvršćenim vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.1.1.3. Spoj krovne podrožnice na gornji pojas

Spoj se izvodi navarivanjem ploče dimenzija 200x73x10 (mm) na element gornjeg pojasa. Međusobno se povezuju pločica i pojasnica podrožnice vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.2. O proračunu konstrukcije

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na konstrukciju i to:

- stalno (vlastita težina građevine)
- snijeg
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 23 (m) širine krovne plohe . Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 22.1“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti. Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 10 polja. Kao mjerodavna kombinacija za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

1.3. Materijali za izradu konstrukcije

Svi elementi konstrukcije; glavni okvir, sekundarna konstrukcija, spregovi i spojevi izrađeni su od građevinskog čelika S355.

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom.

Na spoju stupa i temelja koristi se ekspandirajući mort.

1.4. Primjenjeni propisi

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

HRN EN 1991-1-1:2012 - Eurokod 1:

Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada

HRN EN 1991-1-3:2012 - Eurokod 1:

Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom

HRN EN 1991-1-4:2012 – Eurokod 1:

Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra

HRN EN 1992-1-1:2013 - Eurokod 2:

Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade

HRN EN 1993-1-1:2014 - Eurokod 3:

Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade

1.5. Antikorozijska zaštita

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije. S obzirom da je lokacija konstrukcije grad Zagreb, prema HRN ISO 12944-1:2018, konstrukcija spada u C3 kategoriju. Trajnost zaštite od korozije prema HRN EN ISO 12944-1:2018: H (do 15 -25 godina). Zaštita čelične konstrukcije od korozije se izvodi metalnim prevlakama - štrcanjem aluminijskom prevlakom debljine 250 µm. Površinu je potrebno pripremiti odmaščivanjem. Također je potrebno pjeskarenje zbog dobivanja hrapave površine na koju čestice metala bolje prijanjaju.

1.6. Zaštita od požara

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

1.7. Montaža i transport

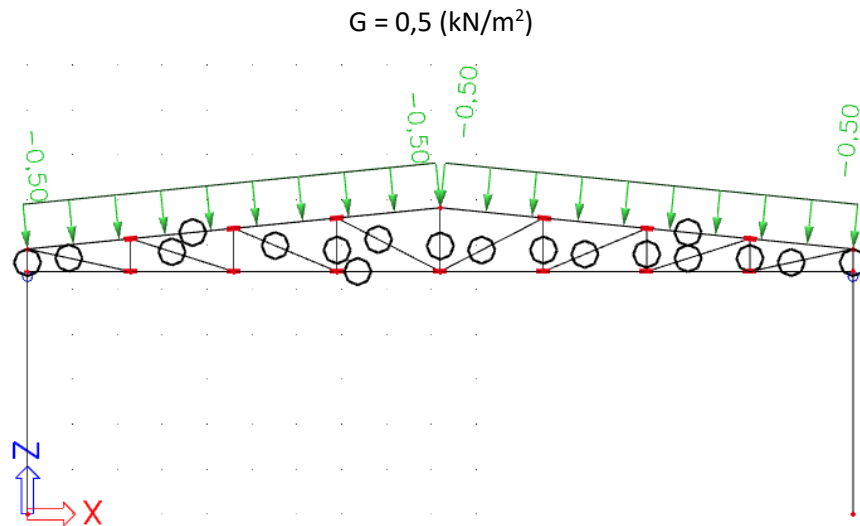
Pozicije okvira će se izrezati u radionici, te transportirati na gradilište gdje će se izvoditi montaža. Pri tome potrebno je obratiti posebnu pažnju na transport, kao i na montažu, da bi se izbjegla

nepotrebna oštećenja. Ako prilikom transporta i montaže dođe do oštećenja, ona se moraju popraviti. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi za suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s „Pravilnikom o zaštiti na radu“.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. Stalno opterećenje

Stalno djelovanje je vlastita težina koja uključuje panele, instalacije i sekundarne nosače. Iznos stalnog djelovanja G je:



Slika 2.1 Djelovanje stalnog opterećenja na površinu konstrukcije

Sile u čvorovima računamo prema formuli:

$$G_k = G \cdot A$$

gdje je:

G_k – sila u čvoru

A – površina na koju djeluje stalno opterećenje od vlastite težine

Iznos sila u čvorovima za rubne nosače:

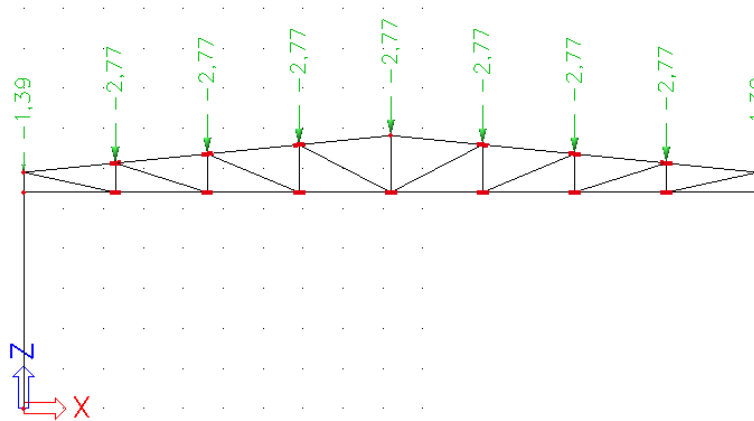
$$A_1 = \frac{1}{2} \cdot L_{\text{polje}} \cdot \frac{1}{2} \cdot n = \frac{1}{2} \cdot 2,331 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4,8 = 2,773 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$G_{k1} = 0,5 \cdot 2,773 = 1,387 \text{ (kN)}$$

Iznos sila u čvorovima za unutarne nosače:

$$A_2 = \frac{1}{2} \cdot L_{\text{polje}} \cdot \frac{1}{2} \cdot n \cdot 2 = \frac{1}{2} \cdot 2,331 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4,8 \cdot 2 = 5,546 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$G_{k2} = 0,5 \cdot 5,546 = 2,773 \text{ (kN)}$$



Slika 2.2 Djelovanje stalnog opterećenja u čvorovima

2.2. Pokretno opterećenje

2.2.1. Djelovanje snijega

Djelovanje snijega se definira izrazom:

$$s = s_k * \mu_i * c_e * c_i \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

gdje je:

s_k – karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu $\rightarrow 1$ (kN/m²) za grad Zagreb na nadmorskoj visini od 100m

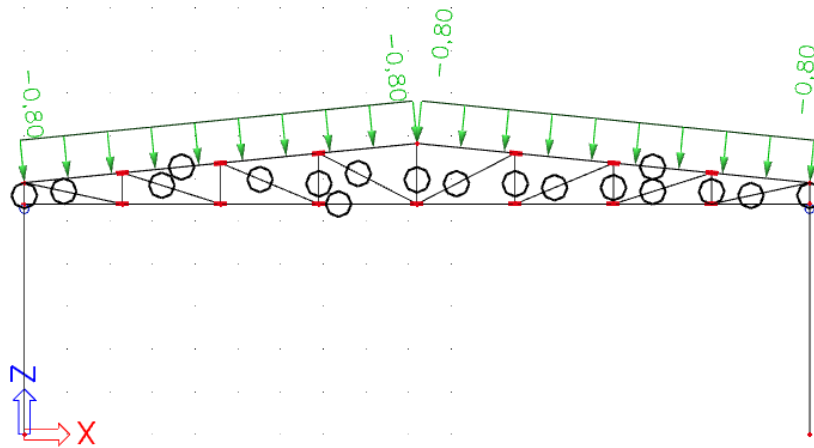
μ_i - koeficijent oblika opterećenja snijegom za nagib krova $0^\circ < \alpha < 15^\circ$ ($\alpha = 5,711^\circ$) $\rightarrow 0,8$

c_e - koeficijent izloženosti (usvaja se 1,00)

c_i - toplinski koeficijent (usvaja se 1,00)

Uvrštavanjem u formulu dobivamo opterećenje snijegom preko krovne plohe:

$$s = s_k * \mu_i * c_e * c_i \text{ [kN/m}^2\text{]} = 1 * 0,8 * 1 * 1 = 0,8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



Slika 2.3 Djelovanje snijega na površinu konstrukcije

Sile u čvorovima računamo prema formuli:

$$S_k = s * A$$

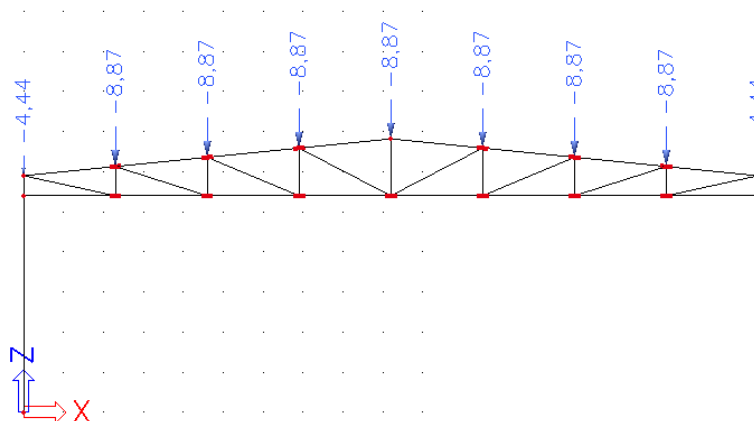
I uvrštavanjem u formulu dobivamo:

iznos sila u čvorovima za rubne nosače:

$$s_1 = s * \frac{1}{2} * L_{\text{polje}} * \frac{1}{2} * n = 0,8 * \frac{1}{2} * 2,331 * \frac{1}{2} * 4,8 = 2,237 \text{ (kN)}$$

te iznos sila u čvorovima za unutarnje nosače:

$$s_2 = s * \frac{1}{2} * L_{\text{polje}} * \frac{1}{2} * n * 2 = 0,8 * \frac{1}{2} * 2,331 * \frac{1}{2} * 4,8 * 2 = 4,476 \text{ (kN)}$$



Slika 2.4 Djelovanje snijega u čvorovima

2.2.2. Djelovanje vjetra

Razlikujemo dva slučaja opterećenja vjetrom – pritisak vjetra na vanjske i na unutarnje površine.

Pritisak vjetra na vanjske površine računamo po formuli:

$$w_e = q_p(z_e) * C_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Pritisak vjetra na unutarnje površine računamo po formuli:

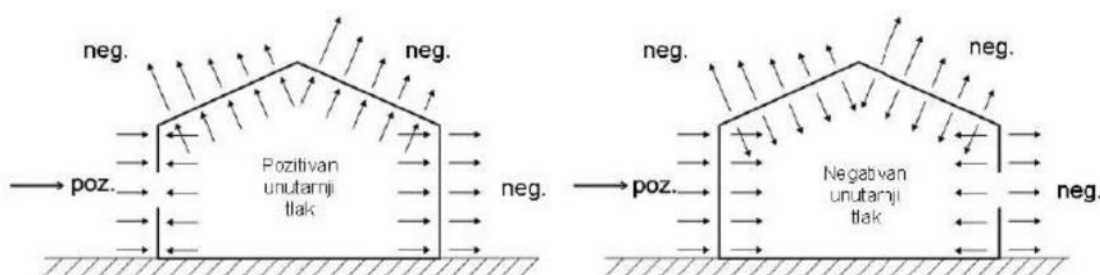
$$W_i = q_p(z_i) * C_{pi} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

gdje je:

$q_p(z_{e(i)})$ – pritisak brzine vjetra pri udaru

$z_{e(i)}$ – referentna visina za vanjski (unutarnji) vjetar

$C_{pe(i)}$ – koeficijent pritiska za vanjski (unutarnji) vjetar



Slika 2.5 Pozitivni i negativni koeficijenti pritiska vjetra

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru

Osnovna brzina vjetra v_b se računa prema izrazu:

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

gdje je:

$v_{b,0}$ – fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra (25 (m/s) očitano s vjetrovne karte za grad Zagreb)

C_{dir} – faktor smjera vjetra (usvojeno 1,00)

C_{season} – faktor doba godine (usvojeno 1,00)

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

$$v_b = v_{b,0} * C_{dir} * C_{season} = 25 * 1 * 1 = 25 \text{ (m/s)}$$

Osnovni pritisak vjetra q_p se određuje prema izrazu:

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

gdje je:

ρ – gustoća zraka (usvojeno 1,25 (kg/m³))

v_b – osnovna brzina vjetra

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

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

Pritisak brzine vjetra po udaru računamo prema izrazu:

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

gdje je:

$C_e(z)$ -faktor izloženosti koji se odnosi na pritisak te ovisi o visini terena z i kategoriji terena (odabrana kategoriju terena: IV. Visina $z = 6,82\text{m} \rightarrow C_{e(z)} = 1,19$)

Uvrštavanjem dobivamo:

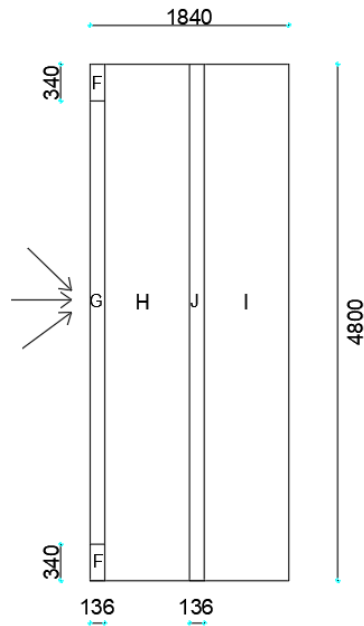
$$q_p(z) = q_b * C_e(z) = 0,39 * 1,19 = 0,47 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Određivanje koeficijenta pritiska vjetra

Krov – vanjski vjetar

Krov s nagibom $|\alpha| > 5^\circ$ klasificira se kao dvostrešni krov, gdje je zadani nagib krova $\alpha = 5,711^\circ$.

$e = \min \{b = 48\text{m} ; 2h = 2 * 6,82 = 13,6\text{m}\} = 13,6 \text{ (m)}$



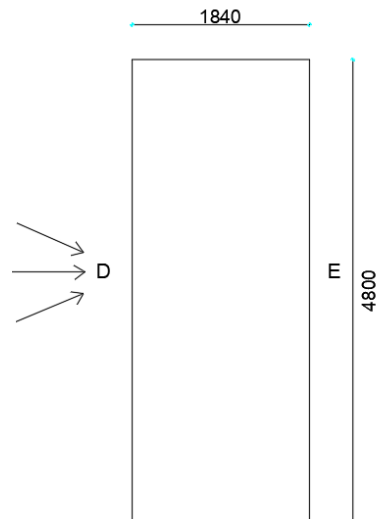
Slika 2.6 Prikaz područja vjetra za kosi krov

Za navedena područja koeficijent vanjskog pritiska C_{pe} za dvostrešni krov dobijemo interpolacijom:

Tablica 1: Pozitivni i negativni koeficijenti vanjskog pritiska za područja kosog krova

Zona	F	G	H	I	J
$C_{pe} (-)$	-1,64	-1,17	-0,58	-0,59	-0,63
$C_{pe} (+)$	+0,014	+0,014	+0,014	0	0,19

Vertikalni zidovi – vanjski vjetar



Slika 2.7 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Za vanjska područja D i E koeficijent vanjskog pritiska dobijemo interpolacijom:

Tablica 2: Koeficijenti vanjskog pritiska za vertikalne zidove

D	E
+0,72	-0,33

Unutarnji vjetar

Koeficijent unutarnjeg pritiska C_{pi} se odabire za ekstremne slučajeve te iznosi:

$$C_{pi} = +0,2$$

$$C_{pi} = -0,3$$

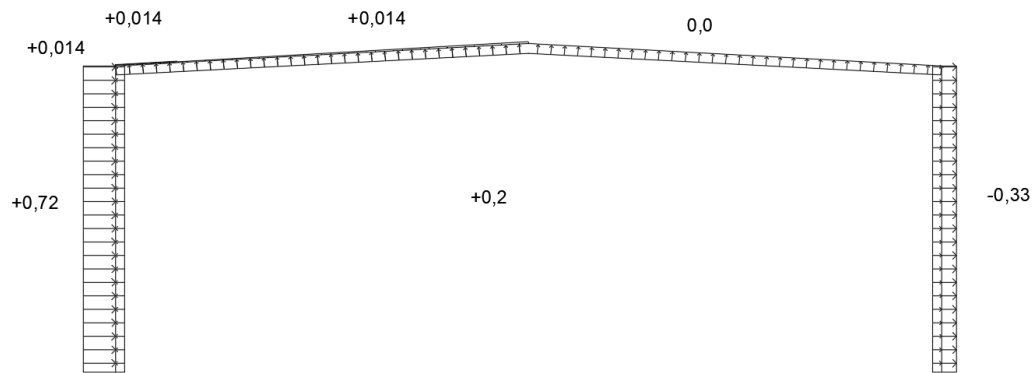
Kombinacije opterećenja vjetrom:

Sve kombinacije za opterećenje vjetrom računamo prema formulama:

$$w = w_e \text{ „+“ } w_i$$

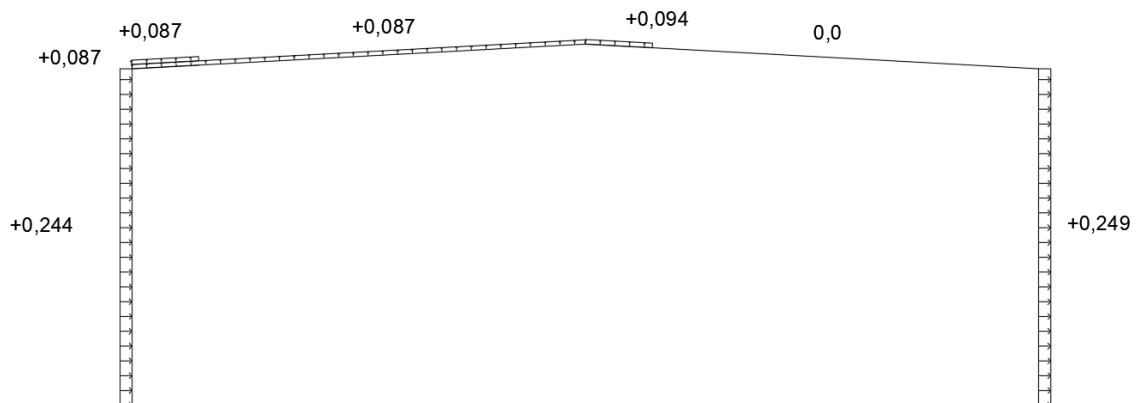
$$w = q_p * (C_{pe} \text{ „+“ } C_{pi}) \text{ [kn/m}^2\text{]}$$

- 1) kombinacija: pozitivni vanjski pritisak „+“ pozitivni unutarnji pritisak



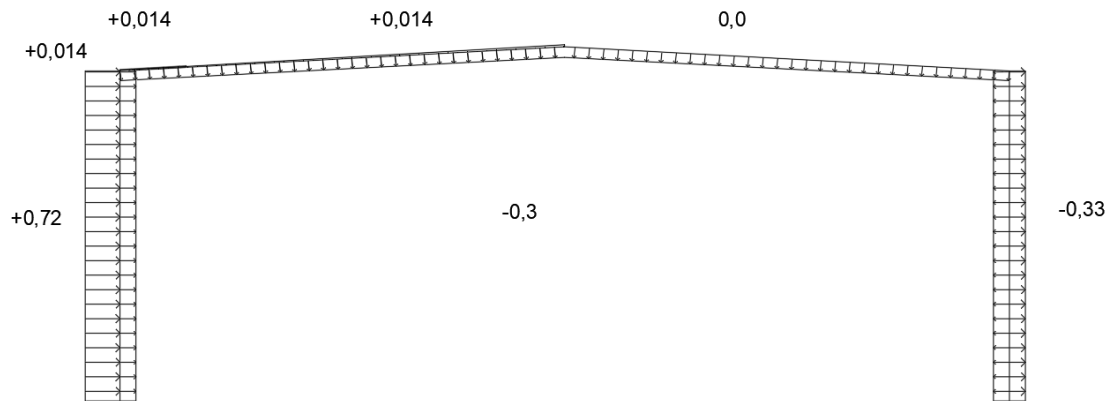
Slika 2.8 Koeficijenti pritiska vjetra za 1. kombinaciju

zona D: $w = (0,72 - 0,2) * 0,47 = 0,244 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona E: $w = (0,33 + 0,2) * 0,47 = 0,249 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona F: $w = (0,2 - 0,014) * 0,47 = 0,087 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona G: $w = (0,2 - 0,014) * 0,47 = 0,087 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona H: $w = (0,2 - 0,014) * 0,47 = 0,087 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona I: $w = 0,2 * 0,47 = 0,094 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona J: $w = (0,19 - 0,2) * 0,47 \approx 0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$



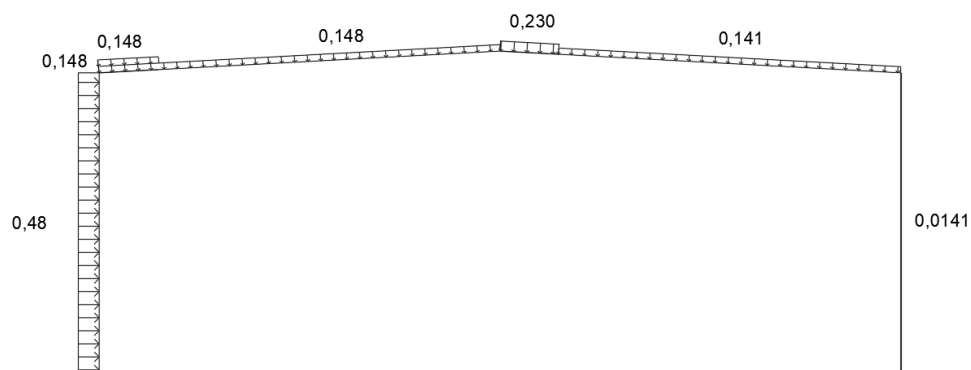
Slika 2.9 Rezultati pritiska vjetra za 1. kombinaciju

2) kombinacija: pozitivan vanjski pritisak „+“ negativni unutarnji pritisak



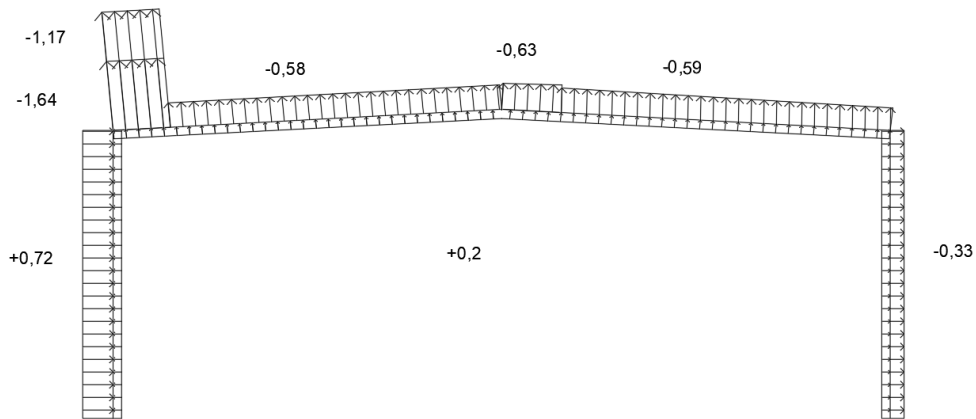
Slika 2.10 Koeficijenti pritiska vjetra za 2. kombinaciju

zona D: $w = (0,72 + 0,3) * 0,47 = 0,48 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona E: $w = (0,33 - 0,3) * 0,47 = 0,0141 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona F: $w = (0,014 + 0,3) * 0,47 = 0,148 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona G: $w = (0,014 + 0,3) * 0,47 = 0,148 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona H: $w = (0,014 + 0,3) * 0,47 = 0,148 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona I: $w = 0,3 * 0,47 = 0,141 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona J: $w = (0,3 + 0,19) * 0,47 = 0,230 \text{ (kN/m}^2\text{)}$



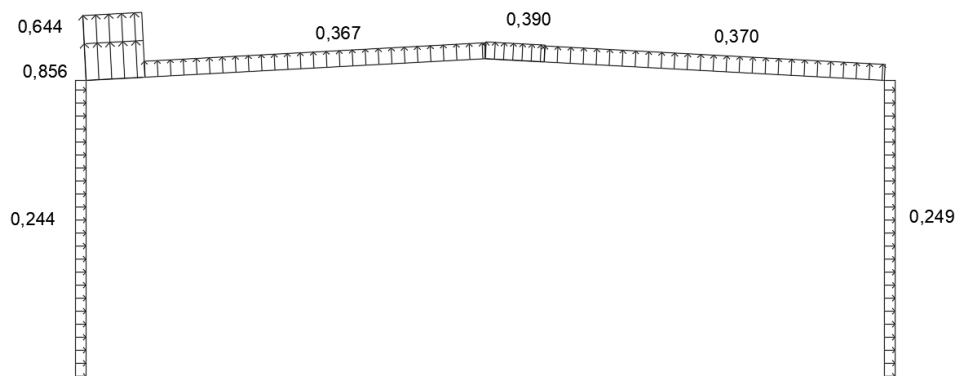
Slika 2.11 Rezultati pritiska vjetra za 2. kombinaciju

3) kombinacija: negativan vanjski pritisak „+“ pozitivan unutarnji pritisak



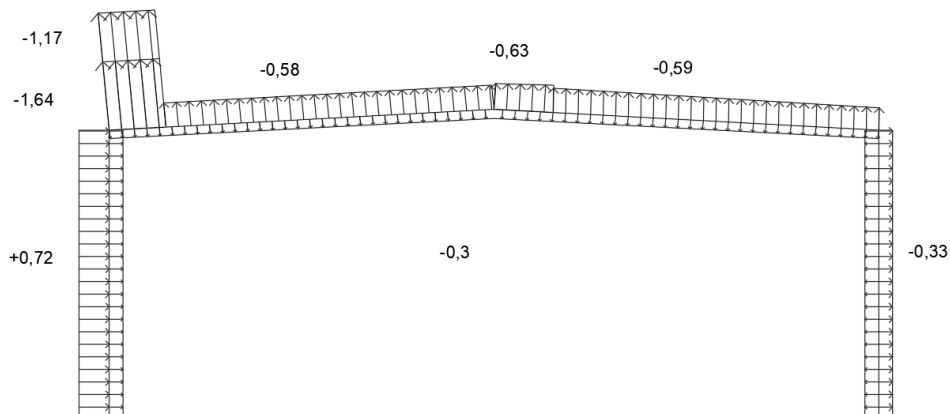
Slika 2.12 Koeficijenti pritiska vjetra za 3. kombinaciju

zona D: $w = (0,72 - 0,2) * 0,47 = 0,244 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona E: $w = (0,33 + 0,2) * 0,47 = 0,249 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona F: $w = (1,64 + 0,2) * 0,47 = 0,856 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona G: $w = (1,17 + 0,2) * 0,47 = 0,644 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona H: $w = (0,58 + 0,2) * 0,47 = 0,367 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona I: $w = (0,59 + 0,2) * 0,47 = 0,370 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona J: $w = (0,63 + 0,2) * 0,47 = 0,390 \text{ (kN/m}^2\text{)}$



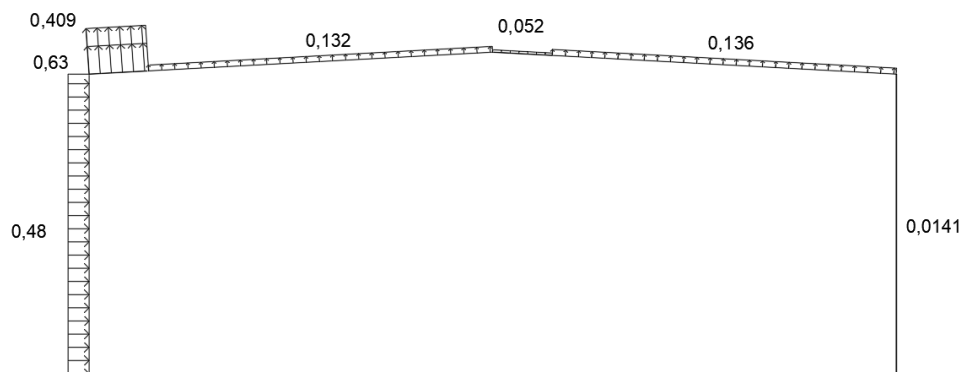
Slika 2.13 Rezultati pritiska vjetra za 3. kombinaciju

- 4) kombinacija: negativan vanjski pritisak „+“ negativni unutarnji pritisak



Slika 2.14 Koeficijenti pritiska vjetra za 4. kombinaciju

zona D: $w = (0,72 + 0,3) * 0,47 = 0,48 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona E: $w = (0,33 - 0,3) * 0,47 = 0,014 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona F: $w = (1,64 - 0,3) * 0,47 = 0,630 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona G: $w = (1,17 - 0,3) * 0,47 = 0,409 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona H: $w = (0,58 - 0,3) * 0,47 = 0,132 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona I: $w = (0,59 - 0,3) * 0,47 = 0,136 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 zona J: $w = (0,3 - 0,19) * 0,47 = 0,052 \text{ (kN/m}^2\text{)}$



Slika 2.15 Rezultati pritiska vjetra za 4. kombinaciju

Kritične kombinacije

Proračun sila vrši se na temelju kritičnih kombinacija.

Kao kritične kombinacije uzimamo:

- drugu kombinaciju koja daje najveći pritisak na rešetku
- treću kombinaciju koja daje najveće odizanje rešetke

Sile u čvorovima

Sile u čvorovima računamo kao umnožak pritiska (jedne ili više zona) i površine na koju taj pritisak djeluje : $W = w_{\text{zona}} * A_{\text{zona}}$

Druga kombinacija – sile u čvorovima:

$$W_1 = w_G * A_G + w_F * A_F = 0,148 * (1,15 * 2,8) + 0,148 * (1,15 * 2) = 0,107 \text{ (kN)}$$

$$W_2 = w_G * A_G + w_F * A_F = 0,148 * (2,3 * 2,8) + 0,148 * (2,3 * 2) = 1,63 \text{ (kN)}$$

$$W_3 = w_H * A_H + w_F * A_F + w_G * A_G = 0,148 * (2,07 * 4,8) + 0,148 * (0,23 * 2) + 0,148 * (0,23 * 2,8) = 1,63 \text{ (kN)}$$

$$W_4 = w_H * A_H = 0,148 * (2,3 * 4,8) = 1,63 \text{ (kN)}$$

$$W_5 = w_H * A_H = 0,148 * (1,15 * 4,8) = 0,817 \text{ (kN)}$$

$$W_6 = w_J * A_J = 0,23 * (4,8 * 1,15) = 1,27 \text{ (kN)}$$

$$W_7 = w_J * A_J = 0,23 * (4,8 * 2,3) = 2,54 \text{ (kN)}$$

$$W_8 = w_J * A_J + w_I * A_I = 0,23 * (0,23 * 4,8) + 0,141 * (4,8 * 2,07) = 1,65 \text{ (kN)}$$

$$W_9 = w_I * A_I = 0,141 * (4,8 * 2,3) = 1,56 \text{ (kN)}$$

$$W_{10} = w_I * A_I = 0,141 * (4,8 * 1,15) = 0,78 \text{ (kN)}$$

$$W_{11} = w_E * A_E = 0,141 * (4,8 * 0,25) = 0,17 \text{ (kN)}$$

$$W_{12} = w_E * A_E = 0,141 * (4,8 * 1,6) = 1,08 \text{ (kN)}$$

$$W_{13} = w_E * A_E = 0,141 * (4,8 * 2,7) = 1,83 \text{ (kN)}$$

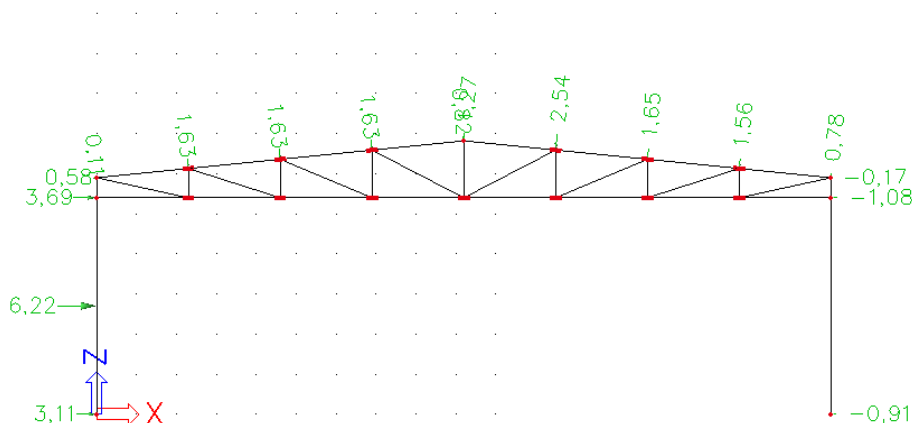
$$W_{14} = w_E * A_E = 0,141 * (4,8 * 1,35) = 0,91 \text{ (kN)}$$

$$W_{15} = w_D * A_D = 0,48 * (4,8 * 1,35) = 3,11 \text{ (kN)}$$

$$W_{16} = w_D * A_D = 0,48 * (4,8 * 2,7) = 6,22 \text{ (kN)}$$

$$W_{17} = w_D * A_D = 0,48 * (4,8 * 1,6) = 3,69 \text{ (kN)}$$

$$W_{18} = w_D * A_D = 0,48 * (4,8 * 0,25) = 0,58 \text{ (kN)}$$



Slika 2.16 Sile u čvorovima uslijed 2. kombinacije

Treća kombinacija – sile u čvorovima:

$$W_1 = w_G * A_G + w_F * A_F = 0,644 * (1,15 * 2,8) + 0,865 * (1,15 * 2) = 4,67 \text{ (kN)}$$

$$W_2 = w_G * A_G + w_F * A_F = 0,644 * (2,3 * 2,8) + 0,865 * (2,3 * 2) = 8,13 \text{ (kN)}$$

$$W_3 = w_H * A_H + w_F * A_F + w_G * A_G = 0,367 * (2,07 * 4,8) + 0,865 * (0,23 * 2) + 0,644 * (0,23 * 2,8)$$

$$=4,46 \text{ (kN)}$$

$$W_4 = w_H * A_H = 0,367 * (2,3 * 4,8) = 4,05 \text{ (kN)}$$

$$W_5 = w_H * A_H = 0,367 * (1,15 * 4,8) = 2,03 \text{ (kN)}$$

$$W_6 = w_J * A_J = 0,39 * (4,8 * 1,15) = 2,15 \text{ (kN)}$$

$$W_7 = w_J * A_J = 0,39 * (4,8 * 2,3) = 4,31 \text{ (kN)}$$

$$W_8 = w_J * A_J + w_I * A_I = 0,39 * (0,23 * 4,8) + 0,37 * (4,8 * 2,07) = 4,11 \text{ (kN)}$$

$$W_9 = w_I * A_I = 0,37 * (4,8 * 2,3) = 4,09 \text{ (kN)}$$

$$W_{10} = w_I * A_I = 0,37 * (4,8 * 1,15) = 2,04 \text{ (kN)}$$

$$W_{11} = w_E * A_E = 0,249 * (4,8 * 0,25) = 0,30 \text{ (kN)}$$

$$W_{12} = w_E * A_E = 0,249 * (4,8 * 1,6) = 1,91 \text{ (kN)}$$

$$W_{13} = w_E * A_E = 0,249 * (4,8 * 2,7) = 3,23 \text{ (kN)}$$

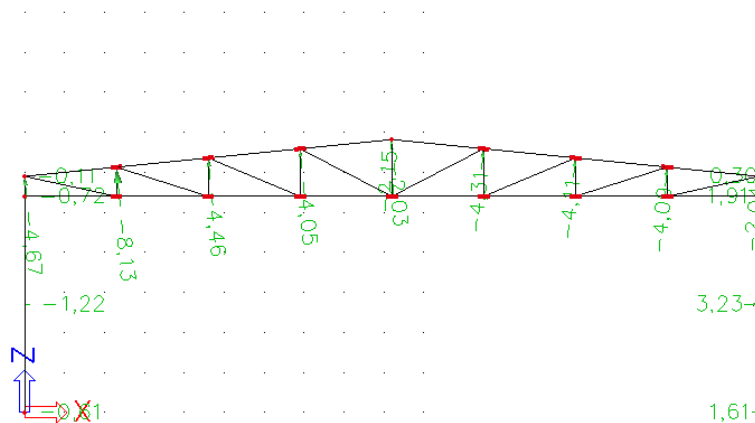
$$W_{14} = w_E * A_E = 0,249 * (4,8 * 1,35) = 1,61 \text{ (kN)}$$

$$W_{15} = w_D * A_D = 0,094 * (4,8 * 1,35) = 0,61 \text{ (kN)}$$

$$W_{16} = w_D * A_D = 0,094 * (4,8 * 2,7) = 1,22 \text{ (kN)}$$

$$W_{17} = w_D * A_D = 0,094 * (4,8 * 1,6) = 0,72 \text{ (kN)}$$

$$W_{18} = w_D * A_D = 0,094 * (4,8 * 0,25) = 0,11 \text{ (kN)}$$



Slika 2.17 Sile u čvorovima uslijed 3. kombinacije

3. KONTROLA PROGIBA

3.1. Vertikalni progib

Okvir se sastoji od sljedećih elemenata:

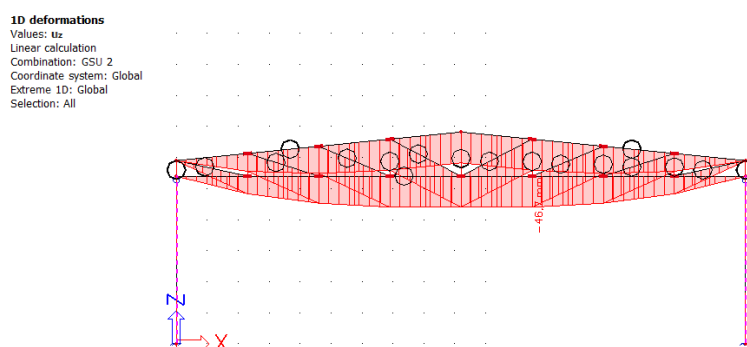
stupovi: HEA 120

donji pojas: SHS 90/90/4

gornji pojas: SHS 90/90/12

dijagonale: SHS 40/40/5

vertikale: SHS 40/40/5



Slika 3.1 Vertikalni progib rešetke

Najveći vertikalni progib se dobije drugom kombinacijom za granično stanje uporabe (GSU).
 Druga kombinacija:

$$1*(G+G_0) „+“ 1*s „+“ 1*0,6* W_{\text{pritisakajuci}}$$

Ukupni vertikalni progib krovništa provjeravamo po formuli:

$$\Delta V < \frac{L}{300}$$

gdje je:

ΔV – vertikalni progib (očitano iz programa „Scia Engineer 22.1“)

L – raspon okvira

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

$$\Delta V = 46,7 \text{ (mm)}$$

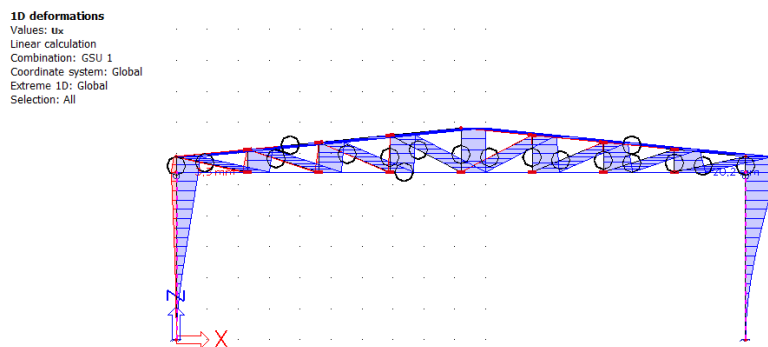
$$\Delta V < \frac{L}{300} = \frac{18400}{300} = 61,33 \text{ (mm)}$$

$$46,7 \text{ (mm)} < 61,33 \text{ (mm)}$$

Iskoristivost dobivenog progiba: $\frac{46,7}{61,3} = 0,7651 = 76,51\%$

Najveći vertikalni progib zadovoljava u odnosu na dopušteni vertikalni progib sa iskoristivosti 76%.

3.2. Horizontalni progib



Slika 3.2 Horizontalni progib rešetke

Najveći horizontalni progib se dobije prvom kombinacijom za granično stanje uporabe (GSU). Prva kombinacija:

$$1*(G+G_0) „+“ 1*W_{\text{pritiskajuci}} „+“ 1*0,6*s$$

Ukupni horizontalni progib krovišta provjeravamo po formuli:

$$\Delta H < \frac{L}{250}$$

gdje je:

ΔH – horizontalni progib (očitano iz programa „Scia Engineer 22.1“)

L – raspon okvira

Uvrštavanjem u formulu dobivamo:

$$\Delta H = 20,2 \text{ (mm)}$$

$$\Delta H < \frac{H}{250} = \frac{5400}{250} = 21,6 \text{ (mm)}$$

$$20,2 \text{ (mm)} < 21,6 \text{ (mm)}$$

Iskoristivost dobivenog progiba: $\frac{20,2}{21,6} = 0,9352 = 93,52\%$

Najveći horizontalni progib zadovoljava u odnosu na dopušteni progib sa iskoristivosti 94%.

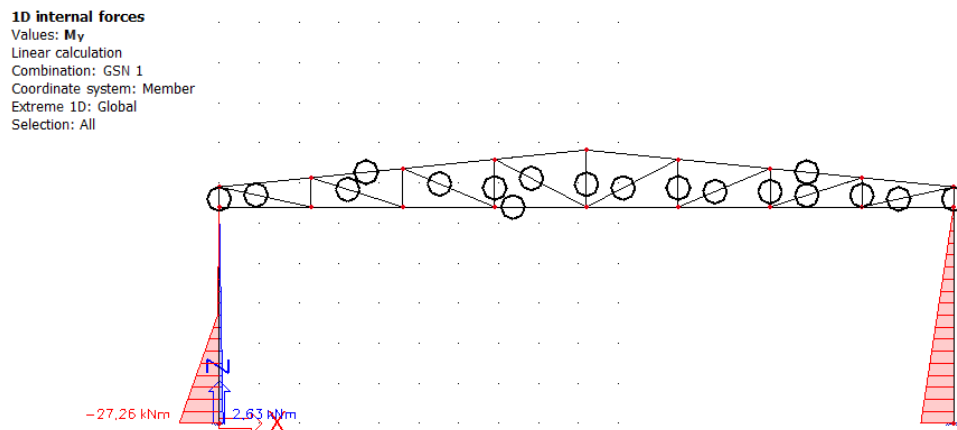
4. DIJAGRAMI SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA – GSN

4.1. Glavna nosiva konstrukcija

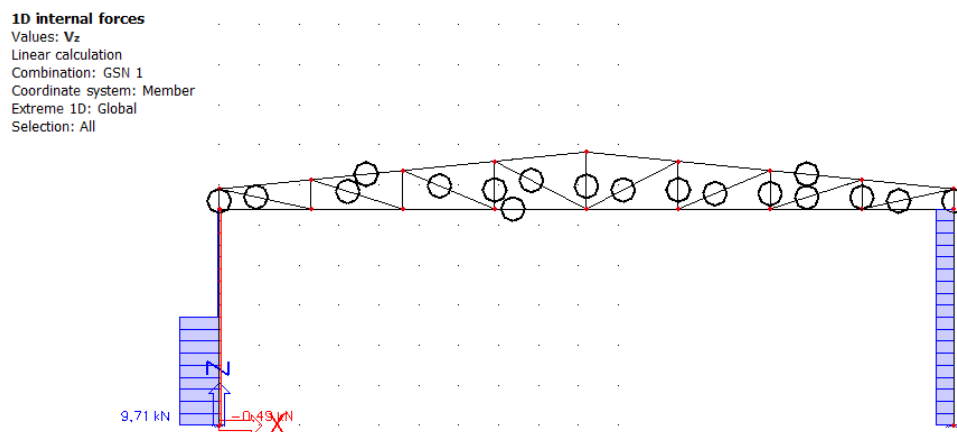
4.1.1. Prva kombinacija

Prva kombinacija GSN:

$$1,35 \cdot (G+G_0) \text{ „+“ } 1,5 \cdot W_{\text{pritisakajuci}} \text{ „+“ } 1,5 \cdot 0,6 \cdot s$$

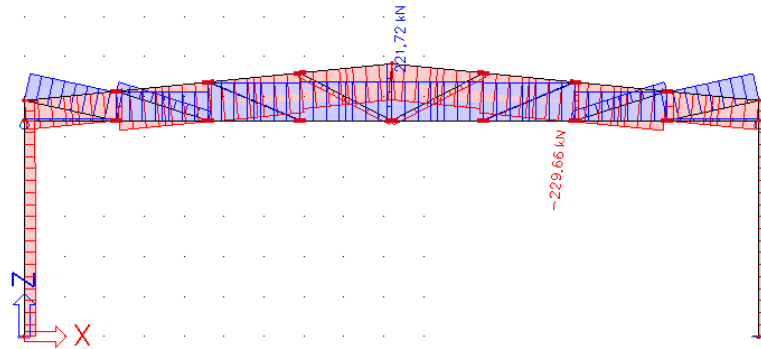


Slika 4.1 Momentni dijagram za 1. kombinaciju GSN



Slika 4.2 Dijagram poprečnih sila za 1. kombinaciju GSN

1D internal forces
 Values: **N**
 Linear calculation
 Combination: GSN 1
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



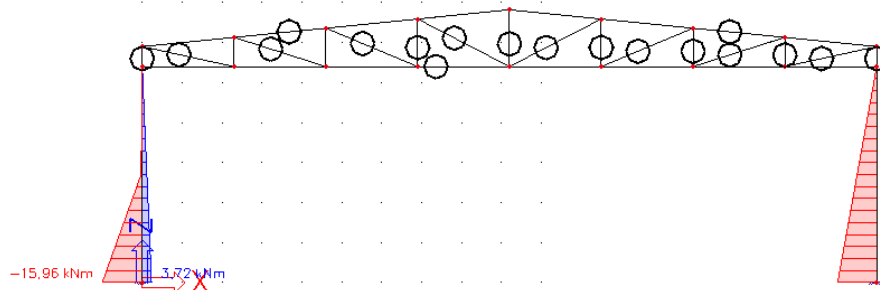
Slika 4.3 Dijagram uzdužnih sila za 1. kombinaciju GSN

4.1.2. Druga kombinacija

Druga kombinacija GSN:

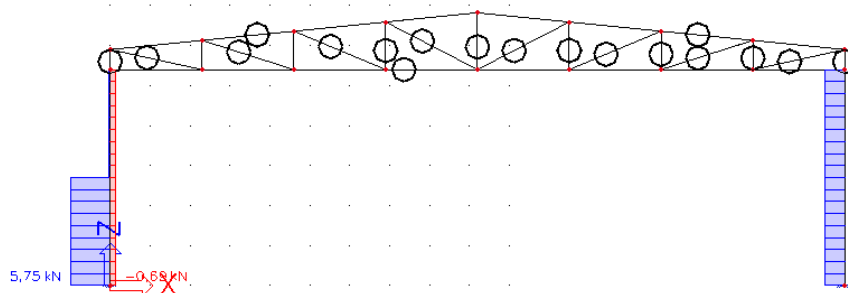
$$1,35 \cdot (G+G_0) \text{ „+“ } 1,5 \cdot s \text{ „+“ } 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{\text{pritisakujuci}}$$

1D internal forces
 Values: **M_y**
 Linear calculation
 Combination: GSN 2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



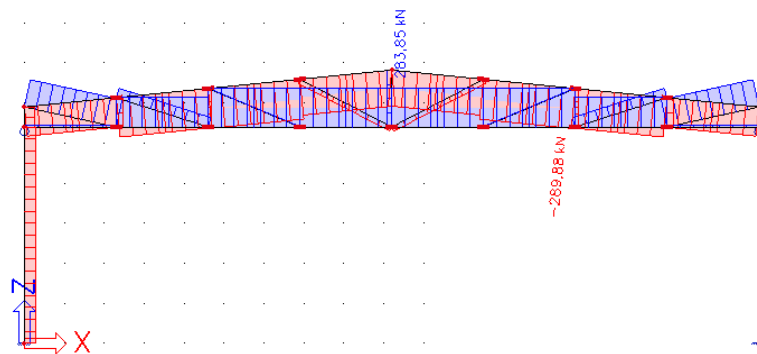
Slika 4.4 Momentni dijagram za 2. kombinaciju GSN

1D internal forces
 Values: Vz
 Linear calculation
 Combination: GSN 2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.5 Dijagram poprečnih sila za 2. kombinaciju GSN

1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: GSN 2
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



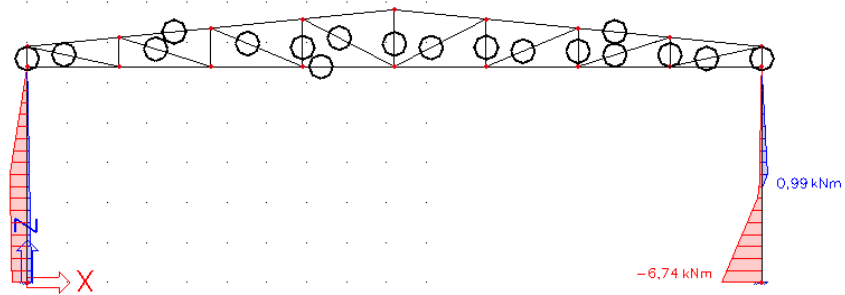
Slika 4.6 Dijagram uzdužnih sila za 2. kombinaciju GSN

4.1.3. Treća kombinacija

Treća kombinacija GSN:

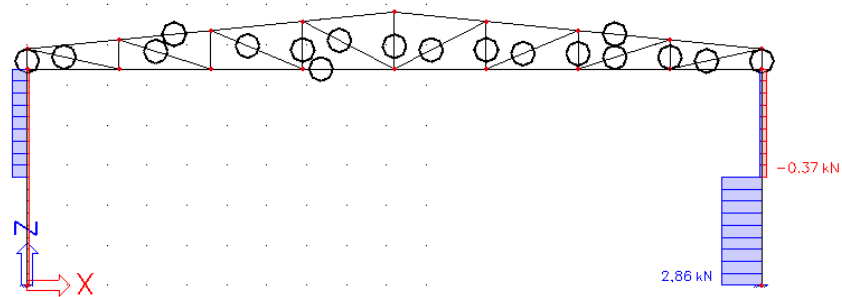
$$1*(G+G_0) „+“ 1,5* W_{odizuci}$$

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: GSN 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



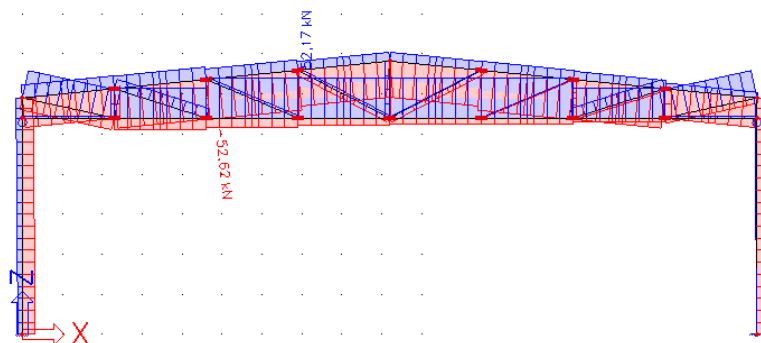
Slika 4.7 Momentni dijagram za 3. kombinaciju GSN

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: GSN 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



Slika 4.8 Dijagram poprečnih sila za 3. kombinaciju GSN

1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Combination: GSN 3
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Global
 Selection: All



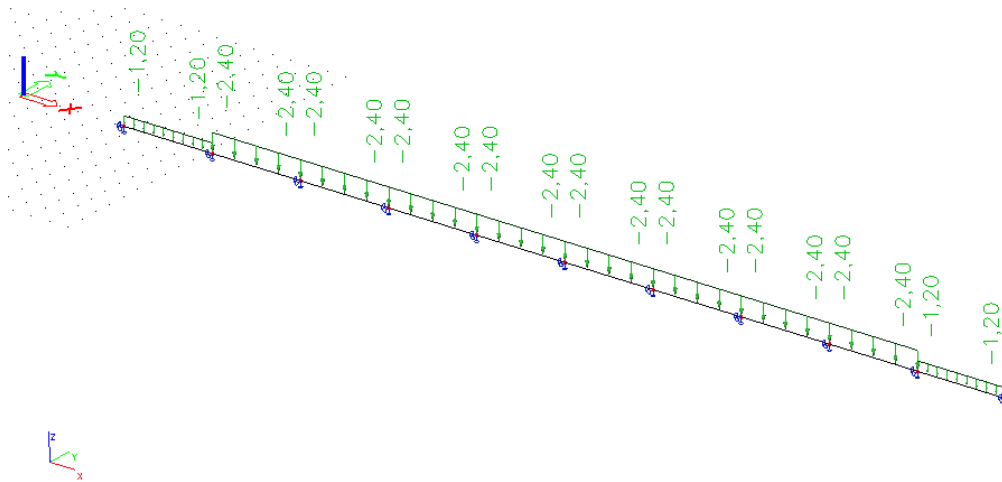
Slika 4.9 Dijagram uzdužnih sila za 3. kombinaciju GSN

4.2. Sekundarna konstrukcija

4.2.1. Krovna podrožnica

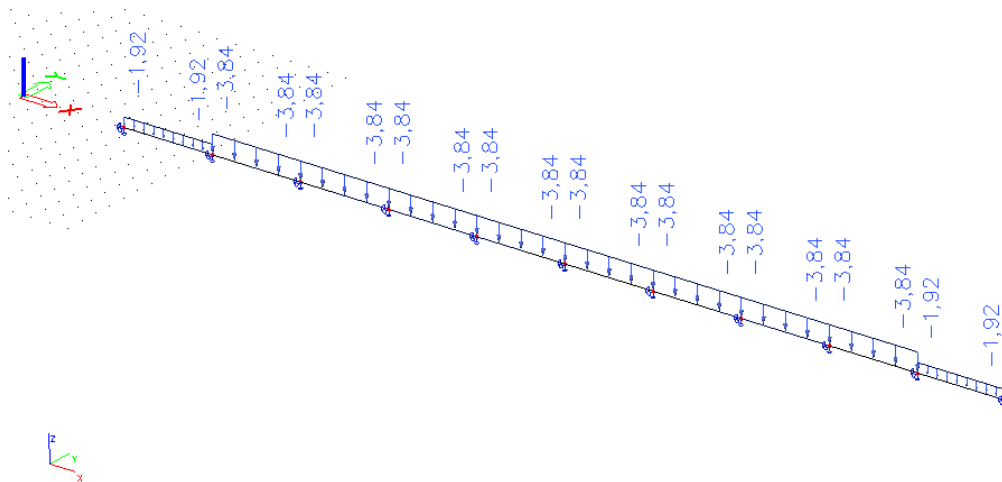
-profil: IPE 140

Djelovanje G – vlastita težina:



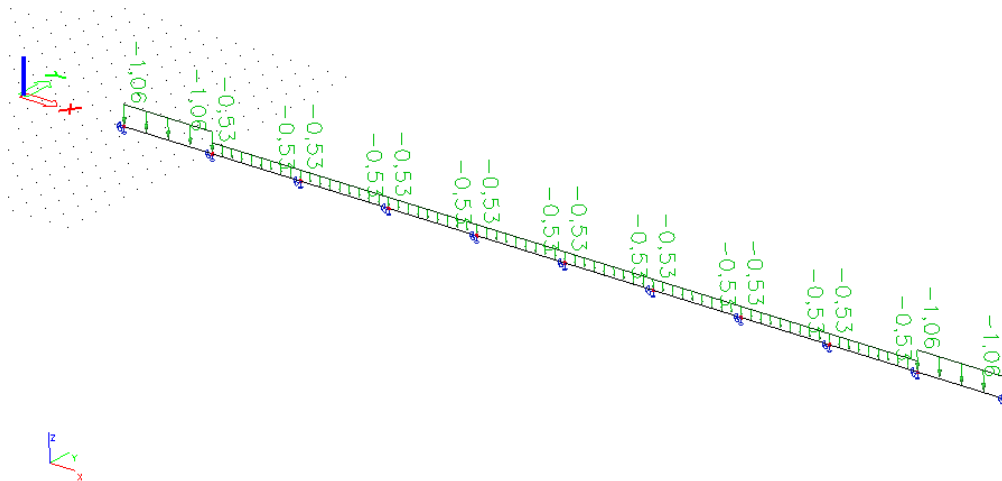
Slika 4.10 Djelovanje stalnog opterećenja na krovnu podrožnicu

Djelovanje s - snijeg:



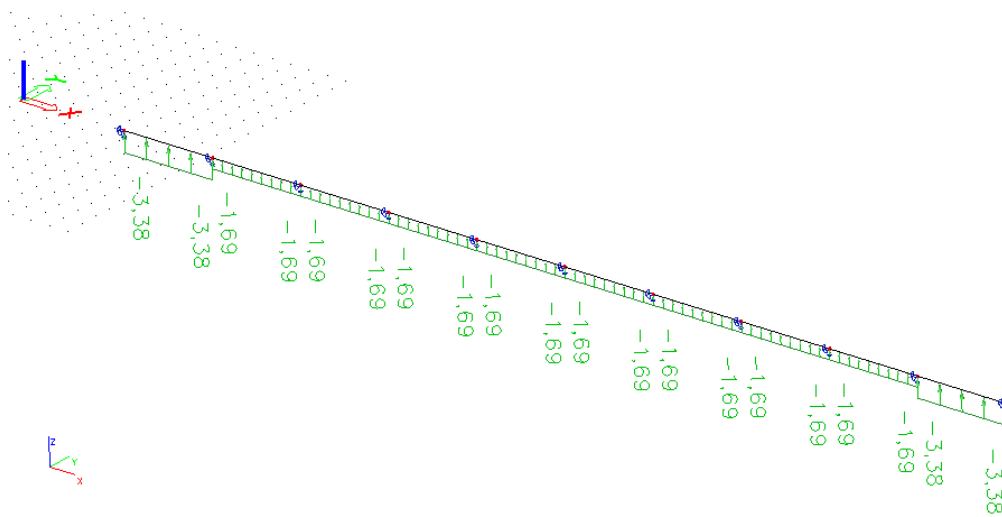
Slika 4.11 Djelovanje snijega na krovnu podrožnicu

Djelovanje $W_{\text{pritiskajuci}}$ - pritiskajući vjetar:



Slika 4.12 Djelovanje pritiskajućeg vjetra na krovnu podrožnicu

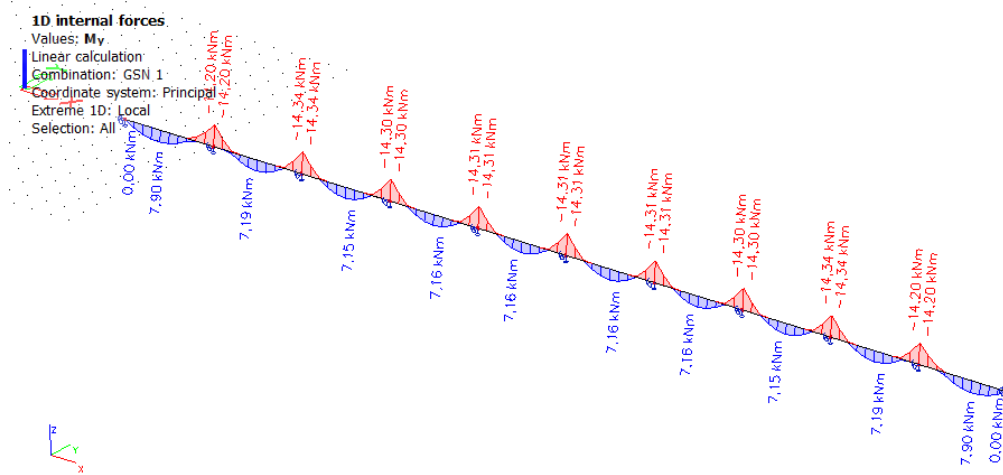
Djelovanje W_{odizuci} – odizujući vjetar:



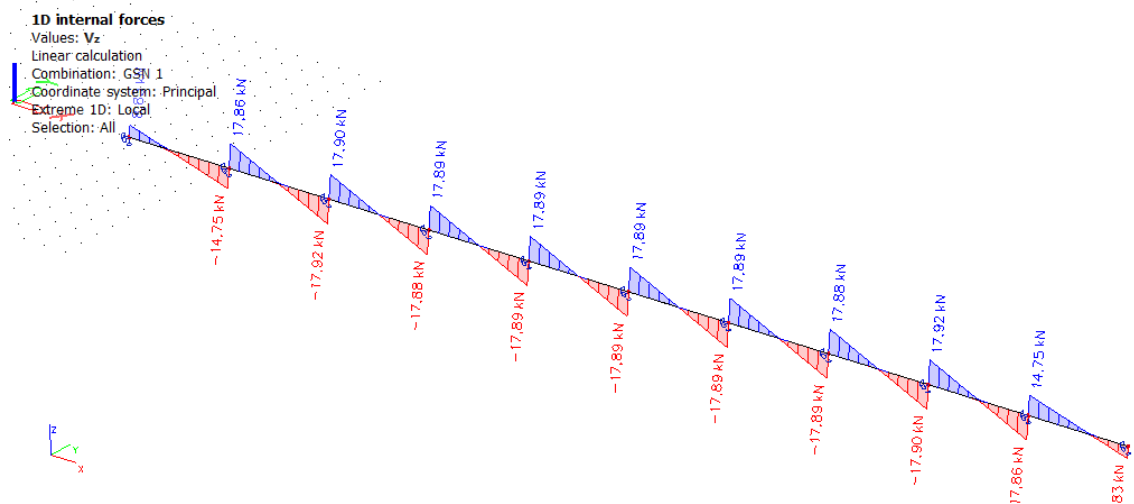
Slika 4.13 Djelovanje odizućeg vjetra na krovnu podrožnicu

Prva kombinacija GSN:

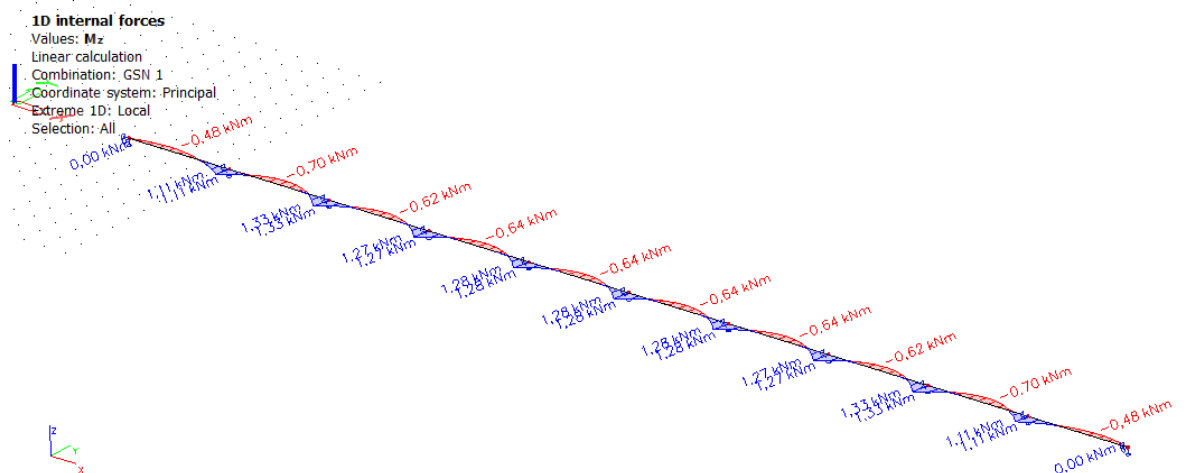
$$1,35*(G+G_0) „+“ 1,5*W_{\text{pritiskajuci}} „+“ 1,5*0,6*s$$



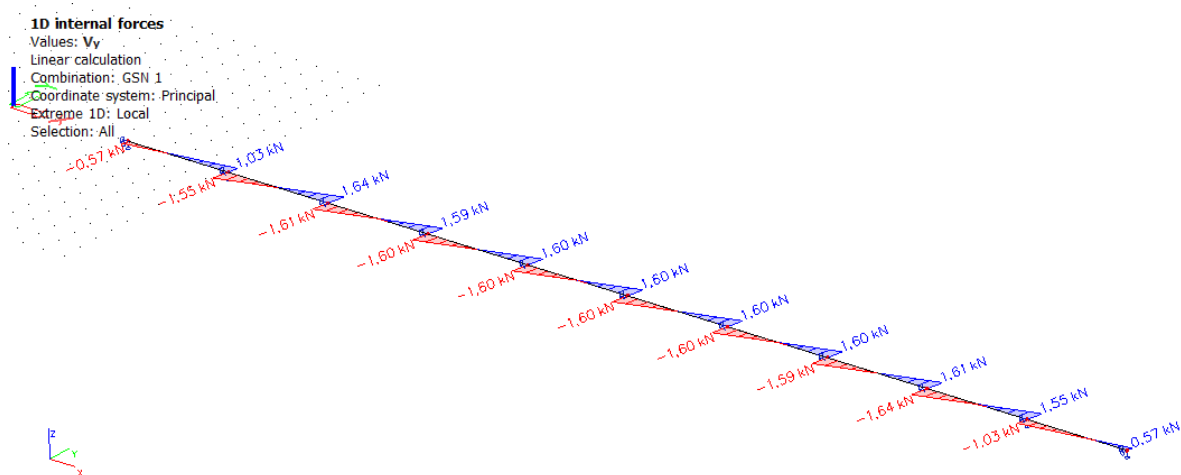
Slika 4.14 Momentni dijagram oko osi y za 1. kombinaciju



Slika 4.15 Dijagram poprečnih sila oko osi z za 1. kombinaciju



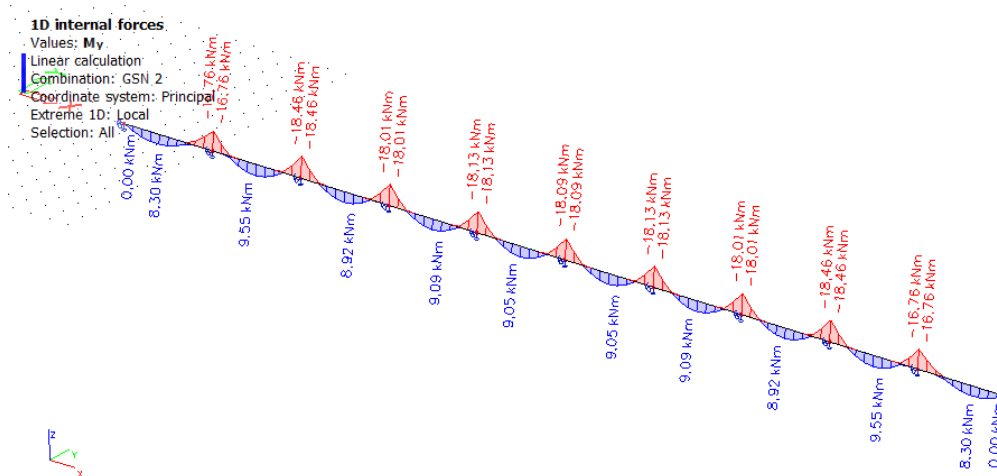
Slika 4.16 Momentni dijagram oko osi z za 1. kombinaciju



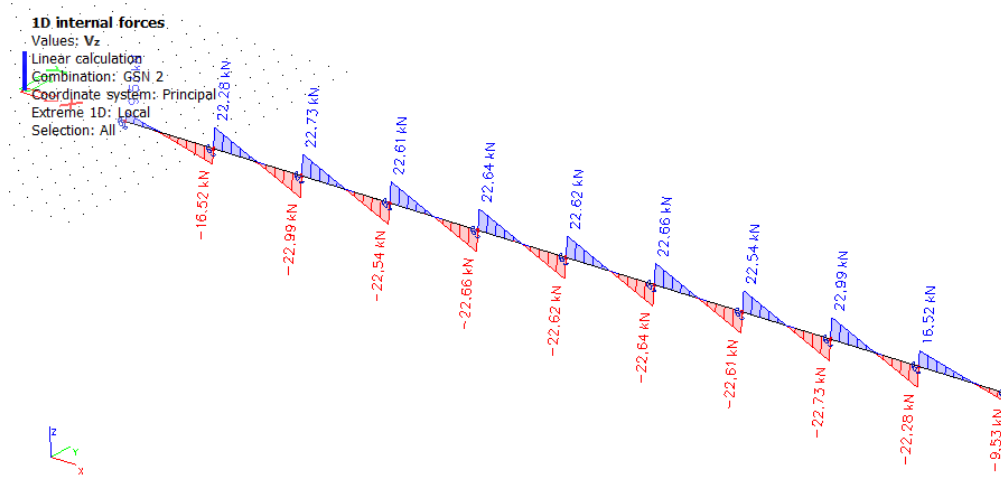
Slika 4.17 Dijagram poprečnih sila oko osi y za 1. kombinaciju

Druga kombinacija GSN:

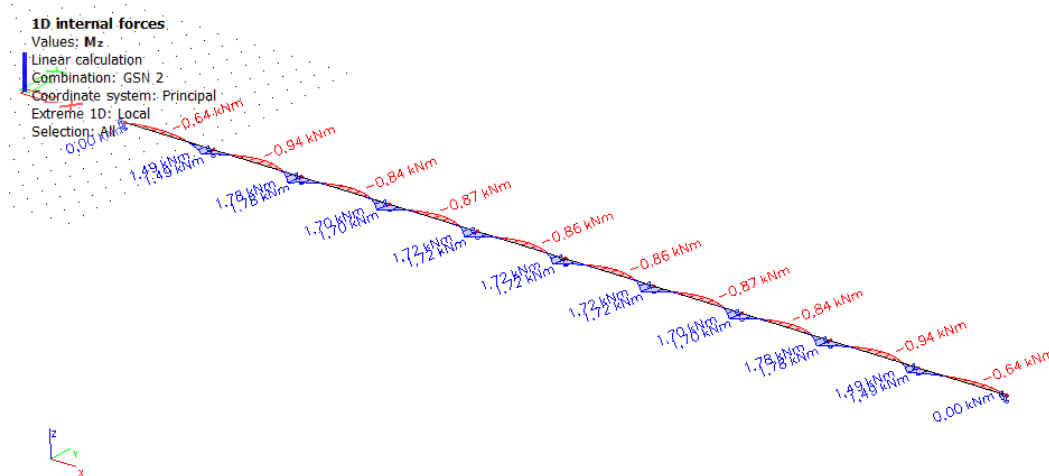
$$1,35 \cdot (G+G_0) „+“ 1,5 \cdot s „+“ 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_{\text{pritisakajuci}}$$



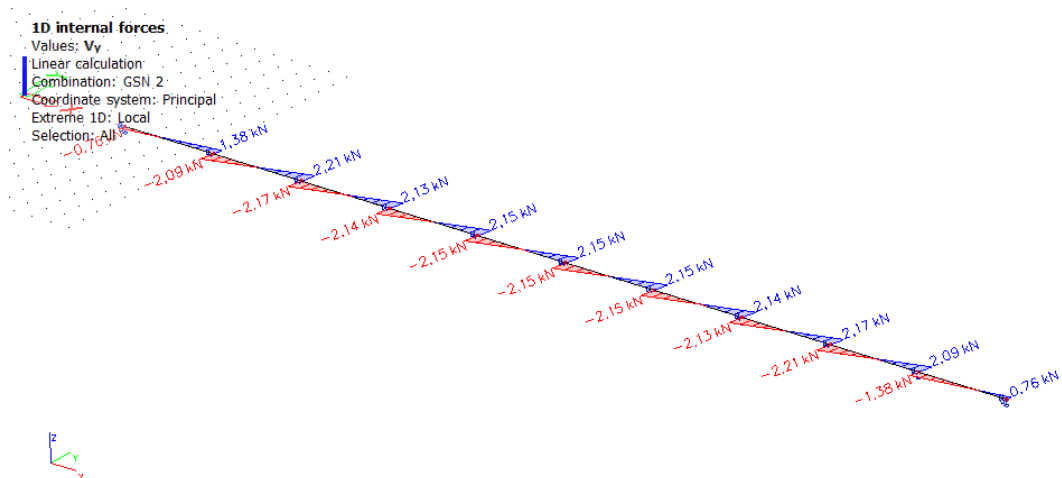
Slika 4.18 Momentni dijagram oko osi y za 2. kombinaciju



Slika 4.19 Dijagram poprečnih sila oko osi z za 2. kombinaciju



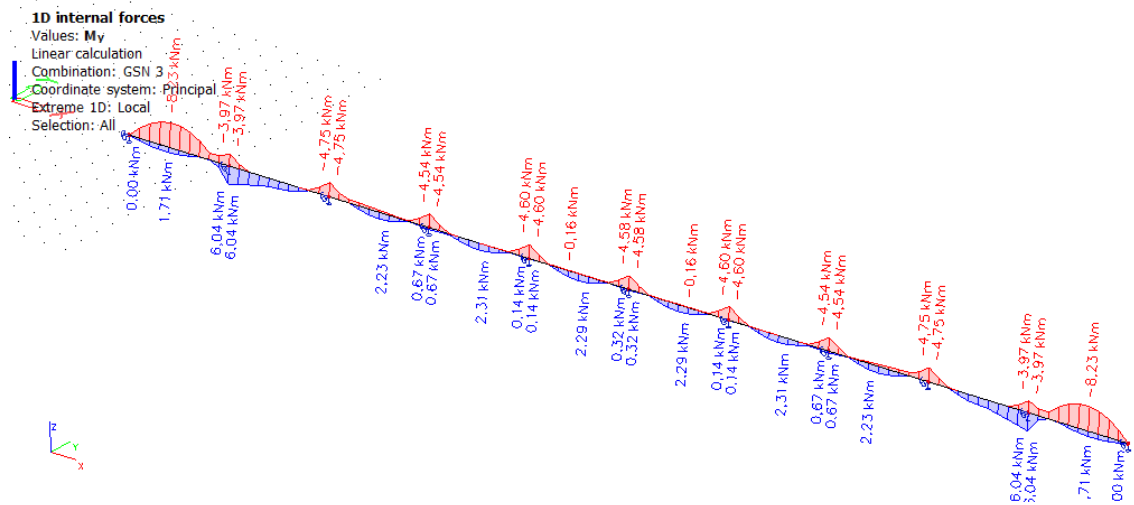
Slika 4.20 Momentni dijagram oko osi z za 2. kombinaciju



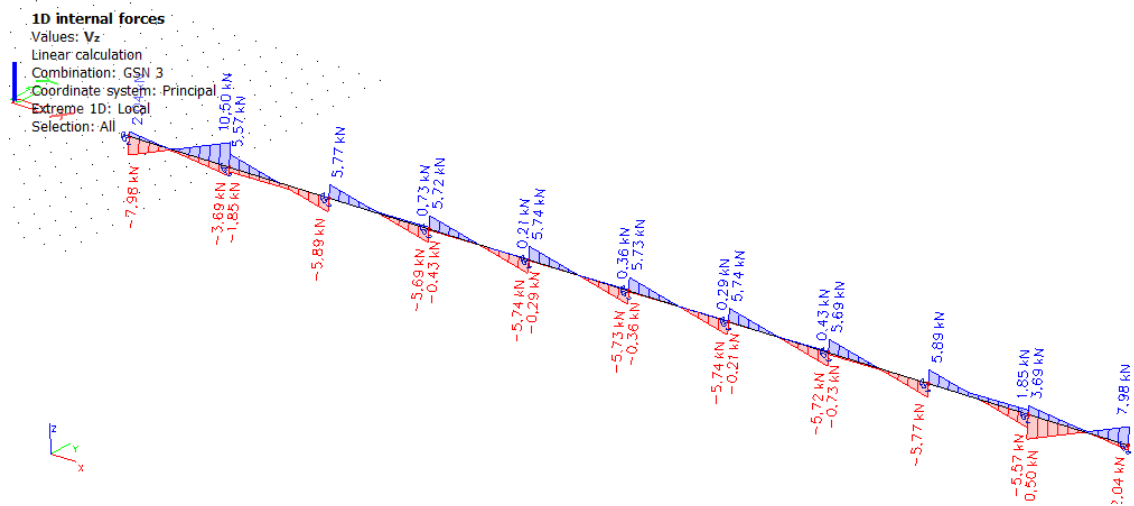
Slika 4.21 Dijagram poprečnih sila oko osi y za 2. kombinaciju

Treća kombinacija GSN:

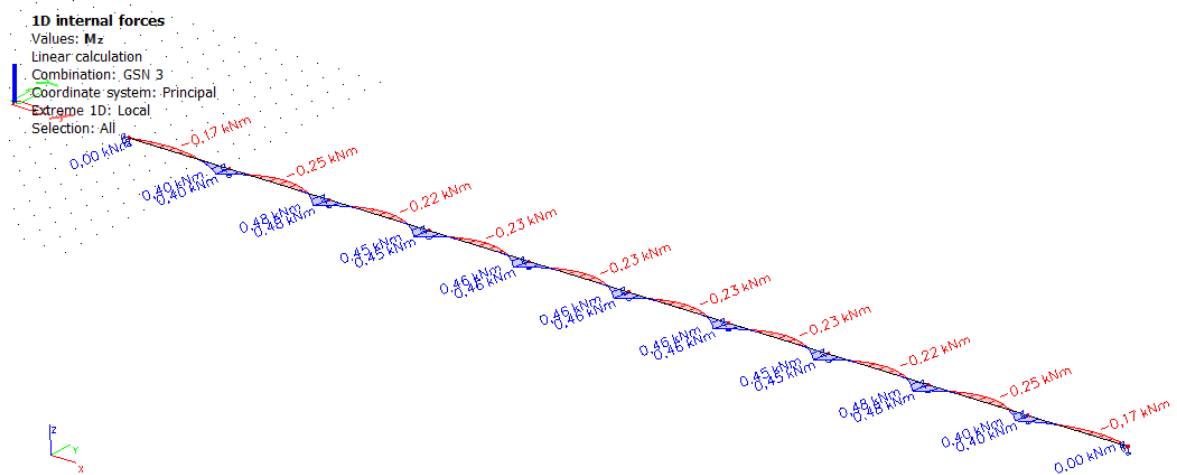
$$1 \cdot (G+G_0) „+“ 1,5 \cdot W_{odizuci}$$



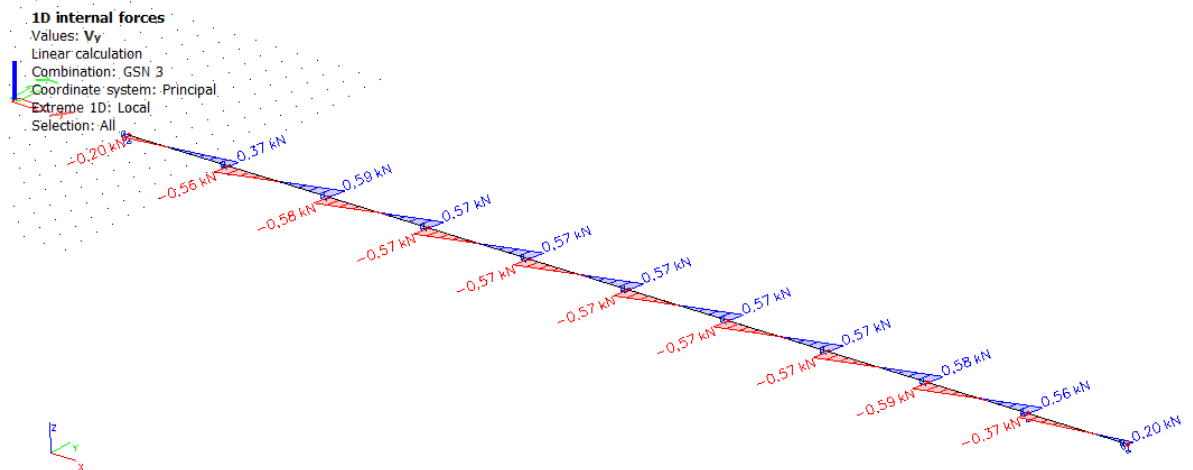
Slika 4.22 Momentni dijagram oko osi y za 3. kombinaciju



Slika 4.23 Dijagram poprečnih sila oko osi z za 3. kombinaciju



Slika 4.24 Momentni dijagram oko osi z za 3. kombinaciju



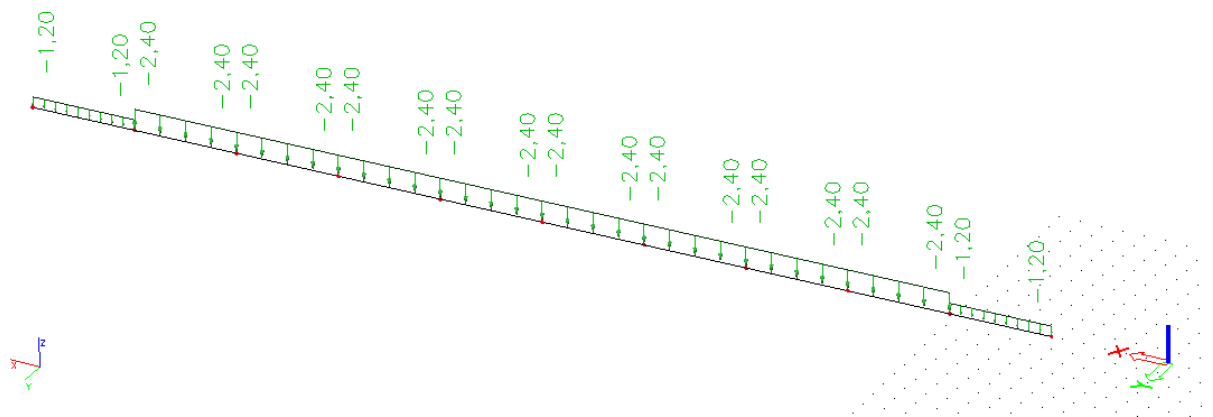
Slika 4.25 Dijagram poprečnih sila oko osi y za 3. kombinaciju

Za krovnu podrožnicu mjerodavna je druga kombinacija graničnog stanja nosivosti.

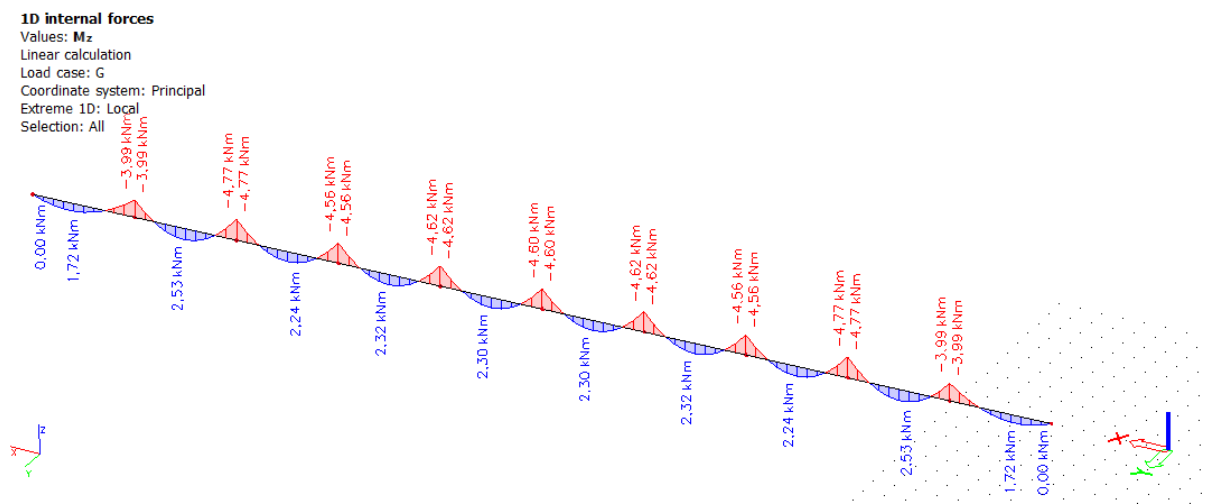
4.2.2. Bočna podrožnica

-profil: IPE 120

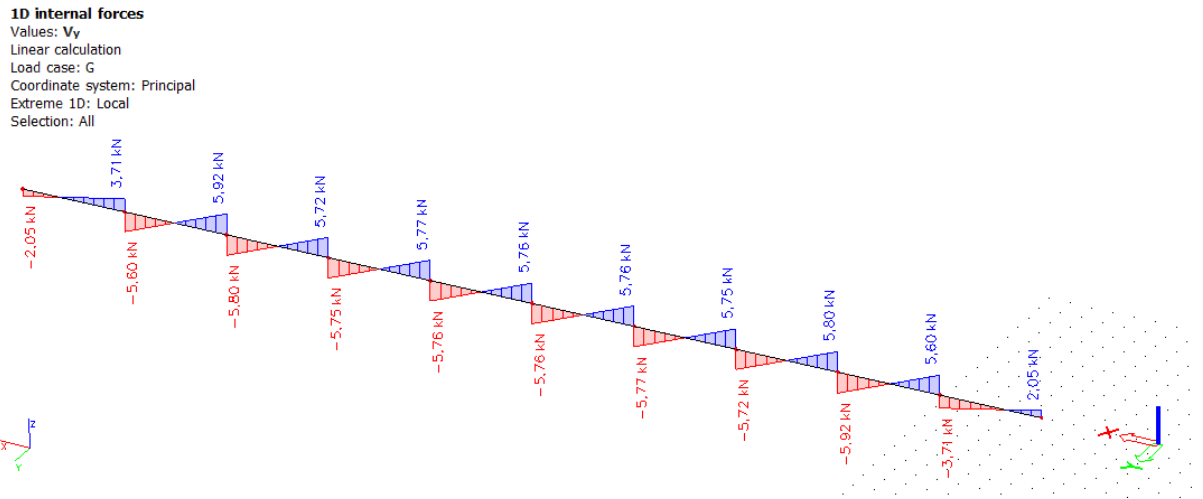
Opterećenje G:



Slika 4.26 Djelovanje stalnog opterećenja na bočnu podrožnicu

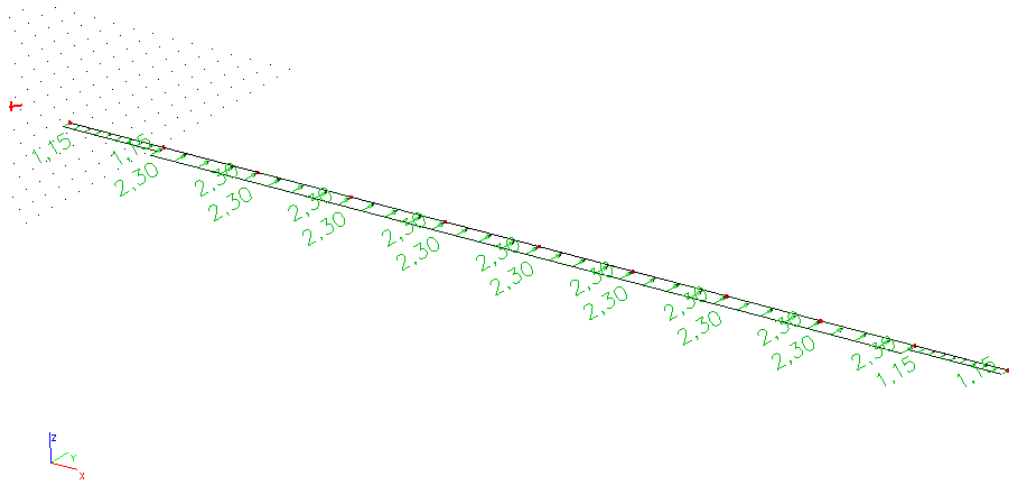


Slika 4.27 Momentni dijagram oko osi z uslijed stalnog opterećenja

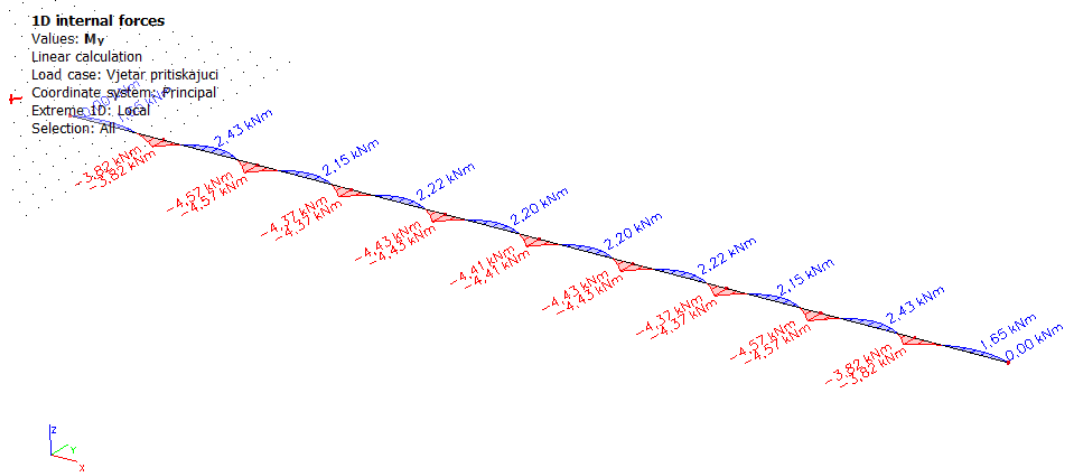


Slika 4.28 Dijagram poprečnih sila oko osi y uslijed djelovanja stalnog opterećenja

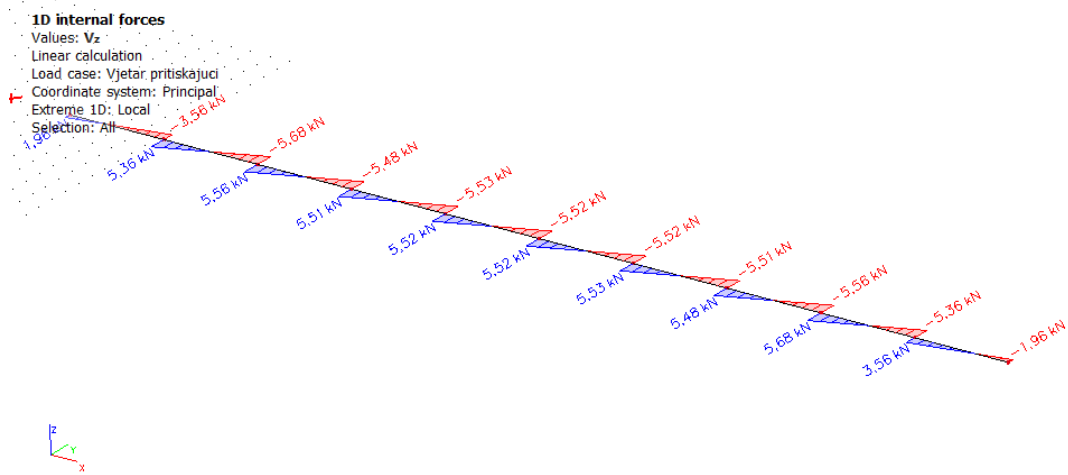
Opterećenje: $W_{\text{pritiskajući}}$
 Raspodjeljeno opterećenje:
 Rubno opterećenje: $W_D \cdot n/2$
 Opterećenje na sredini: $W_D \cdot n$



Slika 4.29 Djelovanje pritiskajućeg vjetra na bočnu podrožnicu



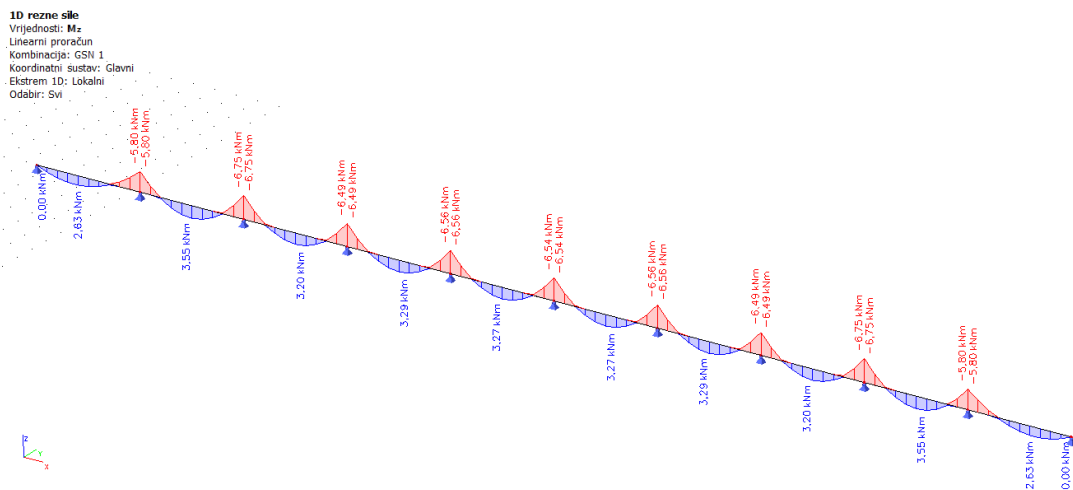
Slika 4.30 Momentni dijagram oko osi y uslijed djelovanja pritiskajućeg vjetra



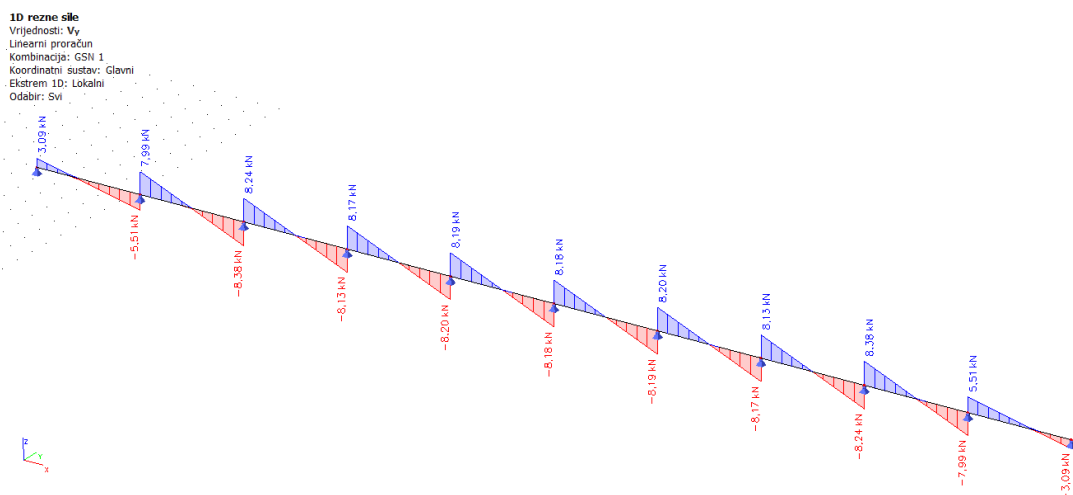
Slika 4.31 Dijagram poprečnih sila oko osi z uslijed djelovanja pritiskajućeg vjetra

Prva kombinacija GSN:

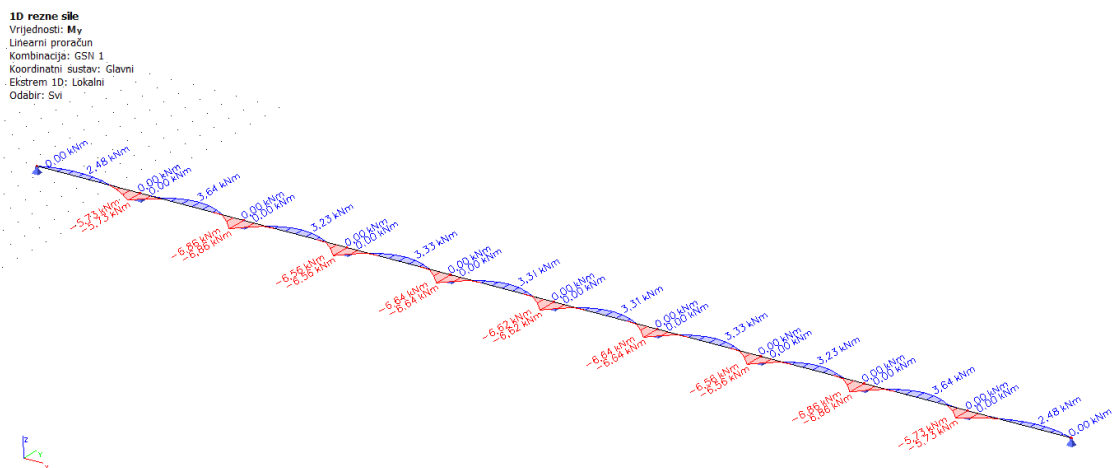
$$1,35 \cdot (G+G_0) „+“ 1,5 \cdot W_{\text{pritiskajući}}$$



Slika 4.32 Momentni dijagram oko osi z za 1. kombinaciju

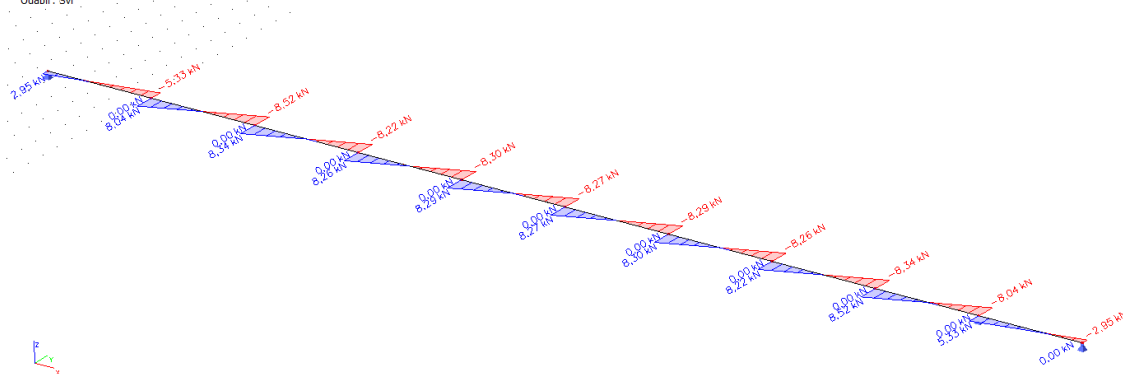


Slika 4.33 Dijagram poprečnih sila u smjeru osi y za 1. kombiniju



Slika 4.34 Momentni dijagram oko osi y za 1. kombinaciju

1D rezne sile
 Vrijednosti: Vz
 Linearni proračun
 Kombinacija: GSN 1
 Koordinatni sustav: Glavni
 Ekstrem ID: Lokalni
 Odabir: Svi

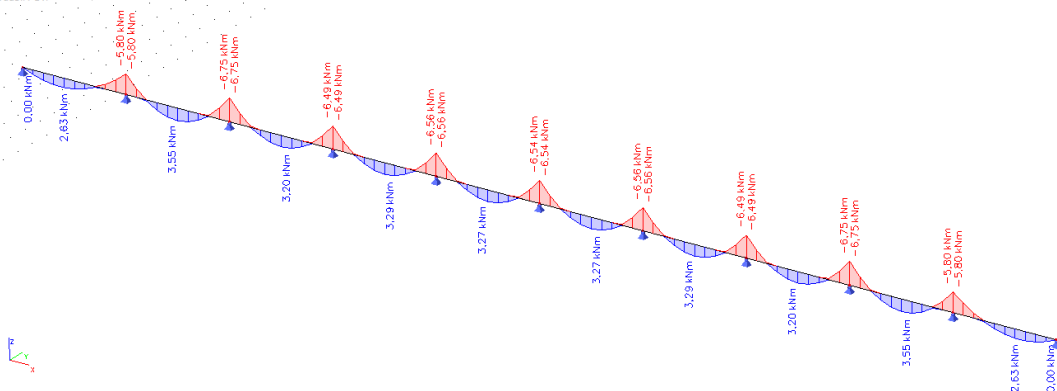


Slika 4.35 Dijagram poprečnih sila u smjeru osi z za 1. kombinaciju

Druga kombinacija GSN:

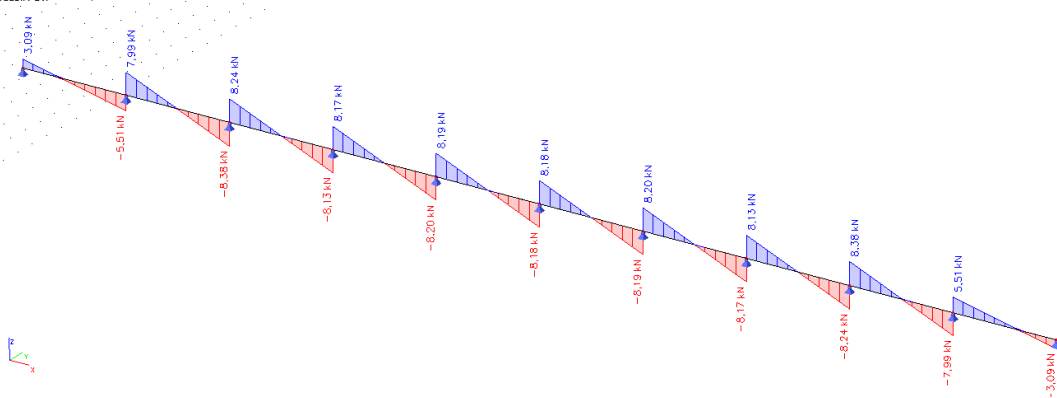
$$1,35*(G+G_0) „+“ 0,9* W_{pritiskajuci}$$

1D rezne sile
 Vrijednosti: Mz
 Linearni proračun
 Kombinacija: GSN 2
 Koordinatni sustav: Glavni
 Ekstrem ID: Lokalni
 Odabir: Svi

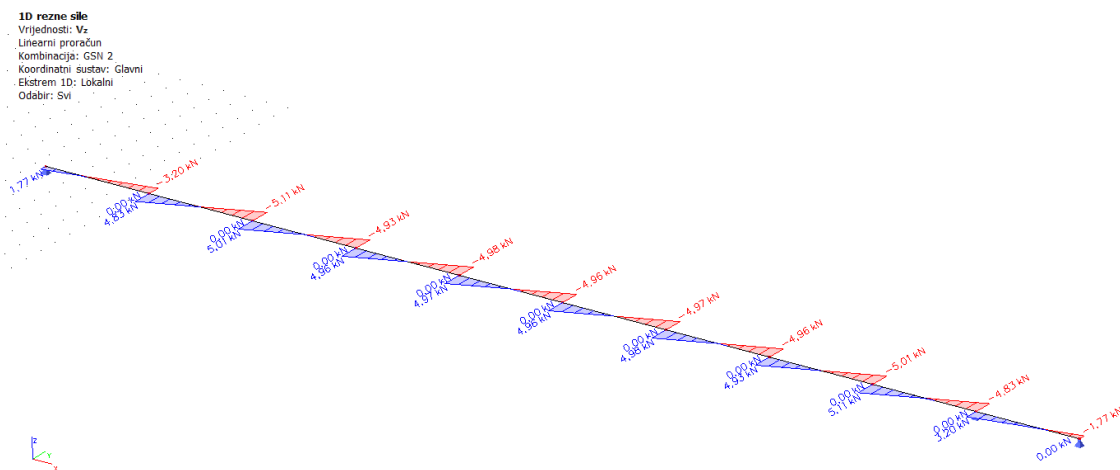
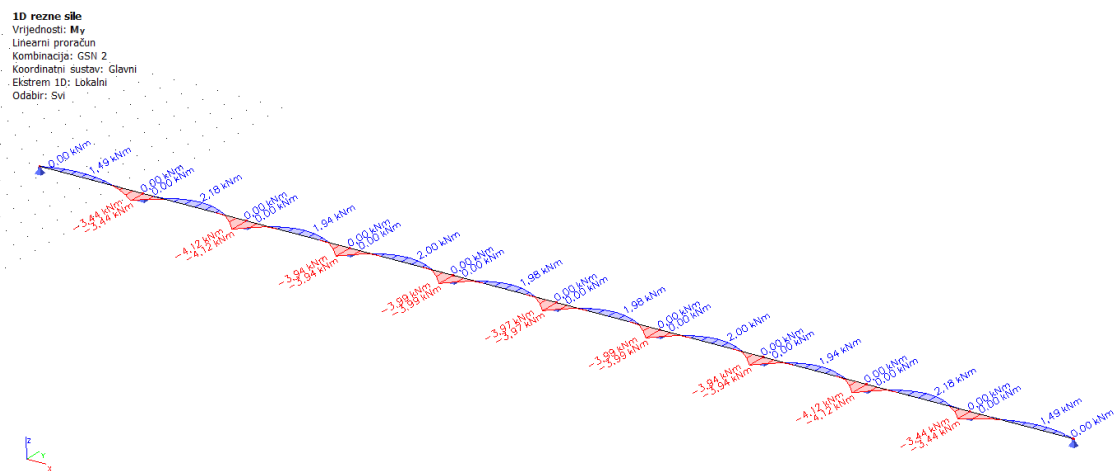


Slika 4.36 Momentni dijagram oko osi z za 2. kombinaciju

1D rezne sile
 Vrijednosti: Vy
 Linearni proračun
 Kombinacija: GSN 2
 Koordinatni sustav: Glavni
 Ekstrem ID: Lokalni
 Odabir: Svi



Slika 4.37 Dijagram poprečnih sila u smjeru osi y za 2. kombinaciju



Za bočnu podrožnicu mjerodavna je prva kombinacija graničnog stanja nosivosti.

4.2.3. Zabatni stupovi

-profil: HEA 160

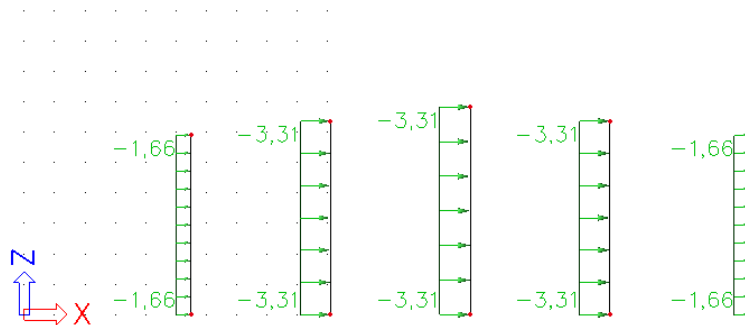
Opterećenje na stupove računamo po formuli:

$$W_D * L * 1,5$$

Gdje je:

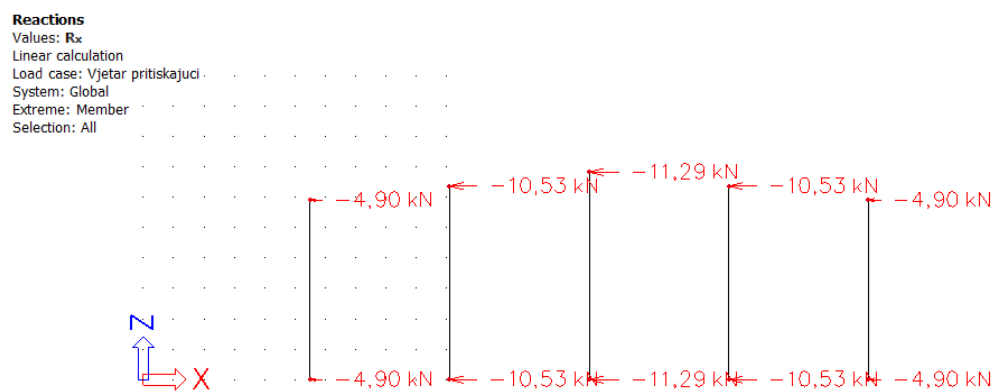
W_d – opterećenje vjetrom u zoni D

L – utjecajna duljina djelovanja



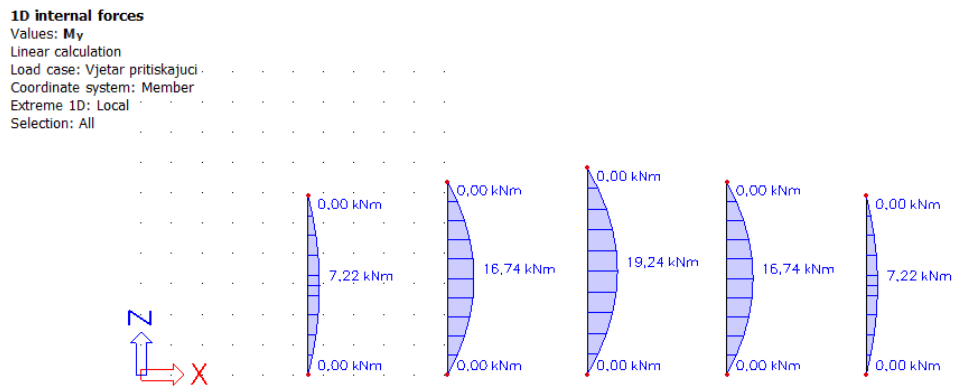
Slika 4.40 Djelovanje pritiskajućeg vjetra na zabatne zidove

Zbog raspodjeljenog opterećenja se javljaju reakcije na zabatnim stupovima:

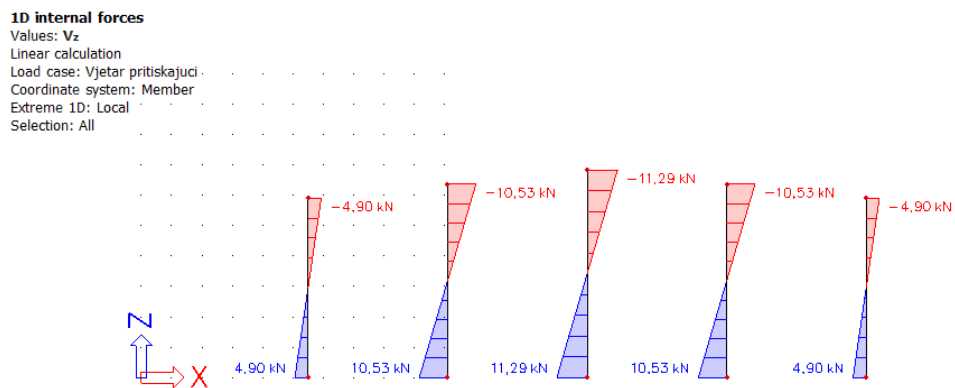


Slika 4.41 Reakcije u ležajevima zabatnih stupova uslijed djelovanja pritiskajućeg vjetra

Dobivamo dijagrame unutrašnjih sila:



Slika 4.42 Momentni dijagram oko osi y



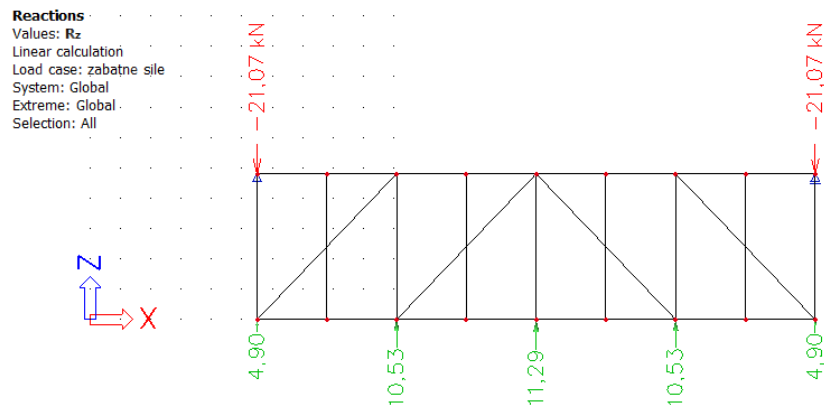
Slika 4.43 Dijagram poprečnih sila u smjeru osi z

4.2.4. Krovni spregovi

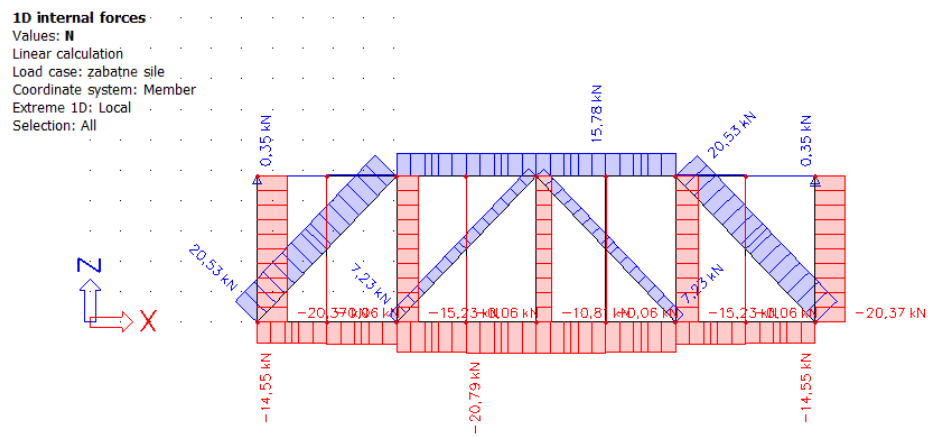
-profil dijagonala: R 12

- profil vertikal: SHS 70/70/5

Reakcije u ležajevima zabatnih stupova se prenose na krovni spreg:



Slika 4.44 Reakcije u ležajevima krovnog sprega

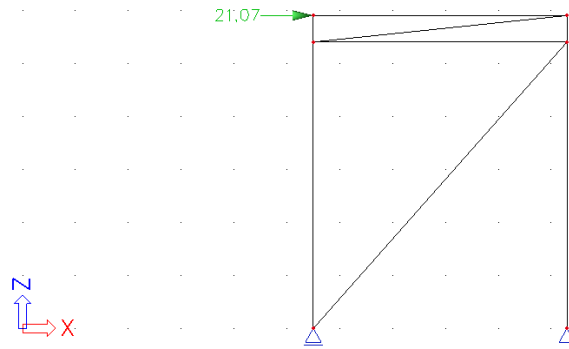


Slika 4.45 Dijagram uzdužnih sila na krovnom spregu

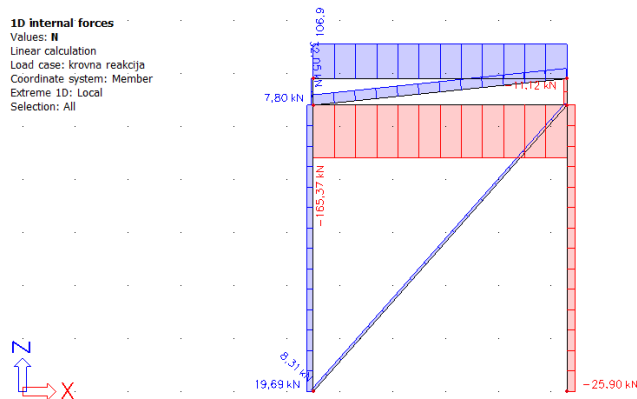
4.2.5. Bočni spregovi

-profil: R 12

Reakcije u ležajevima krovnog sprega se prenose na bočni spreg:



Slika 4.46 Sila iz krovnog sprega



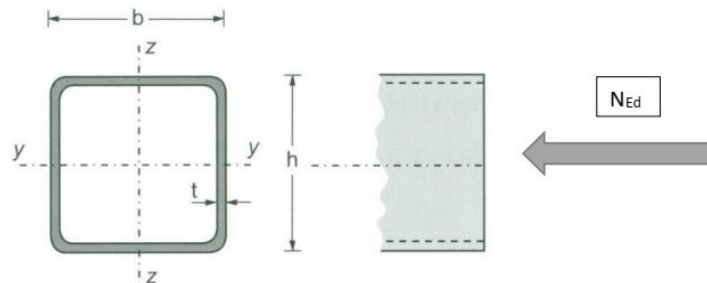
Slika 4.47 Dijagram uzdužnih sila na bočnom spregu

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE PREMA GSN

5.1. Glavna nosiva konstrukcija

5.1.1. Gornji pojas rešetke

Poprečni presjek:



Slika 5.1 Skica poprečnog presjeka gornjeg pojasa

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 90x90x12		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	9	t (cm)	1,2	ro (cm)	1,8
h (cm)	9	A (cm ²)	37,1	ri (cm)	1,2
W _{Pl,Y} (cm ³)	102,78	I _y (cm ⁴)	359	I _w (cm ⁶)	5904,9
W _{Pl,Z} (cm ³)	102,78	I _z (cm ⁴)	359	I _T (cm ⁴)	612
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	ν	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije:

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = -298,08 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrbat (tlak):

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 4,5$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 33 \epsilon = 26,73$$

$$4,5 < 26,73$$

Hrbat je klase 1

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{37,1 \cdot 35,5}{1} = 1317,05 \text{ (kN)}$$

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

$$1317,05 \text{ (kN)} \geq 298,08 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost elementa na uzdužnu tlačnu silu:

Izvijanje oko osi Y-Y:

$$L_{i,Y} = 231,1 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR,Y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_i^2} = 1394,33 \text{ (kN)}$$

Faktor imperfekcije za vruće dogotovljeni element, linija izvijanja a: $\alpha=0,21$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR,Y}}} = 0,97 \rightarrow \Phi_y = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 1,05$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda^2}} = 0,69$$

Izvijanje oko osi Z-Z:

$$L_{i,Z} = 462,2 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR,Z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_i^2} = 348,28 \text{ (kN)}$$

Faktor imperfekcije za vruće dogotovljeni element, linija izvijanja a: $\alpha=0,21$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR,Z}}} = 1,94 \rightarrow \Phi_z = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 2,57$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda^2}} = 0,23$$

$$\chi = \min \{ \chi_y ; \chi_z \} = \chi_z = 0,23$$

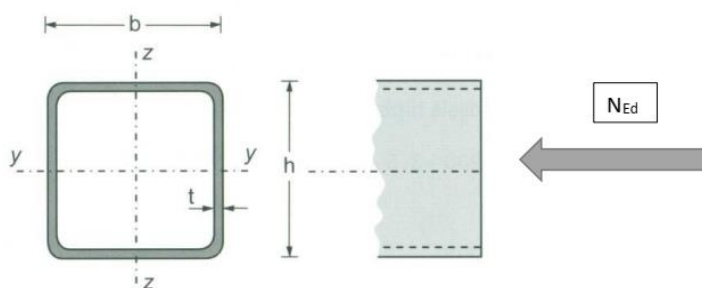
$$N_{B,Rd} = \chi^2 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = 309,14 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 297,08 \text{ (kN)}$$

Profil SHS 90/90/12 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{297,08}{309,14} * 100 = 96\%$$

5.1.2. Donji pojas rešetke

Poprečni presjek:



Slika 5.2 Skica poprečnog presjeka donjeg pojasa

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 90x90x4		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	9	t (cm)	0,4	ro (cm)	0,6
h (cm)	9	A (cm ²)	13,6	ri (cm)	0,4
WPI,Y (cm ³)	43,6	I _y (cm ⁴)	166	I _w (cm ⁶)	1986,3
WPI,Z (cm ³)	43,6	I _z (cm ⁴)	166	I _T (cm ⁴)	260
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	ν	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije:

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 283,85 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrbat (tlak):

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 19,5$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 33 \quad \varepsilon = 26,73$$

$$19,5 \leq 23,73$$

Hrbat je klase 1

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu vlačnu silu:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{13,6 \cdot 35,5}{1} = 482,8 \text{ (kN)}$$

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

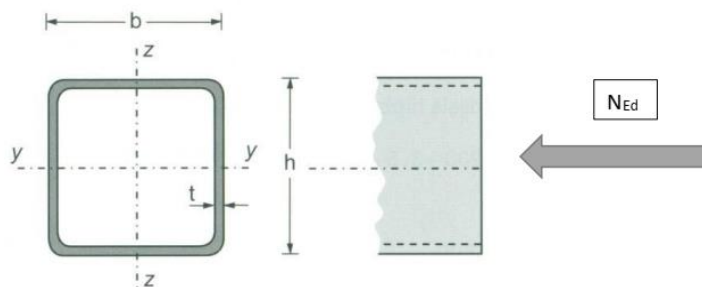
$$482,8 \text{ (kN)} \geq 283,85 \text{ (kN)}$$

Profil SHS 90/90/5 zadovoljava otpornost poprečnog presjeka s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{283,85}{482,8} * 100 = 59\%$$

5.1.3. Dijagonale rešetke

Poprečni presjek:



Slika 5.3 Skica poprečnog presjeka dijagonale

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 40x40x5	$\varepsilon = 0,81$
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$

GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	4	t (cm)	0,5	ro (cm)	0,8
h (cm)	4	A (cm ²)	6,73	ri (cm)	0,5
WPI,Y (cm ³)	8,66	I _y (cm ⁴)	13,4	I _w (cm ⁶)	42,67
WPI,Z (cm ³)	8,66	I _z (cm ⁴)	13,4	IT (cm ⁴)	22,5
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije:

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 222,69 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrbat (tlak):

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 5$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 33 \epsilon = 26,73$$

$$5 \leq 26,73$$

Hrbat je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu vlačnu silu:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{6,75 \cdot 35,5}{1} = 239,63 \text{ (kN)}$$

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

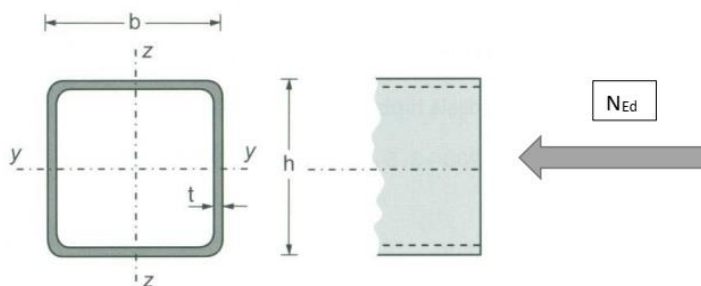
$$239,63 \text{ (kN)} \geq 222,69 \text{ (kN)}$$

Profil SHS 40/40/5 zadovoljava otpornost poprečnog presjeka s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{222,69}{239,63} * 100 = 93\%$$

5.1.4. Vertikale rešetke

Poprečni presjek:



Slika 5.4 Skica poprečnog presjeka vertikalne

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	SHS 40x40x5		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
$b \text{ (cm)}$	4	$t \text{ (cm)}$	0,5	$r_o \text{ (cm)}$	0,6
$h \text{ (cm)}$	4	$A \text{ (cm}^2\text{)}$	5,59	$r_i \text{ (cm)}$	0,4
$W_{pl,Y} \text{ (cm}^3\text{)}$	7,44	$I_y \text{ (cm}^4\text{)}$	11,8	$I_w \text{ (cm}^6\text{)}$	34,13
$W_{pl,Z} \text{ (cm}^3\text{)}$	7,44	$I_z \text{ (cm}^4\text{)}$	11,8	$I_T \text{ (cm}^4\text{)}$	19,5
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
$E \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	21000	$G \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	8077	ν	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije:

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = -78,34 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

- Hrbat (tlak):

$$\frac{d}{t} = \frac{h-3*t}{t} = 7$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 33 \epsilon = 26,73$$

$$7 \leq 26,73$$

Hrbat je klase 1

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{5,59 \cdot 35,5}{1} = 198,45 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 78,34 \text{ (kN)}$$

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

$$198,45 \text{ (kN)} \geq 78,34 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost elementa na uzdužnu tlačnu silu:

$$L_i = 142 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_i^2} = 121,28 \text{ (kN)}$$

Faktor imperfekcije za vruće dogotovljeni element, linija izvijanja a: $\alpha = 0,21$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}}} = 1,279 \rightarrow \Phi = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 1,431$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,482$$

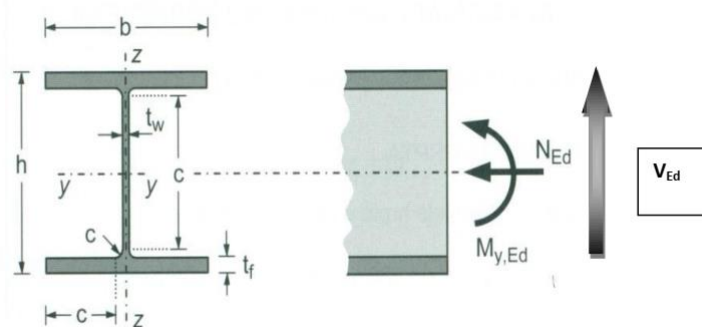
$$N_{B,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = 95,69 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 78,34 \text{ (kN)}$$

Profil SHS 40/40/5 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{78,34}{95,69} \cdot 100 = 82\%$$

5.1.5. Stupovi okvira

Poprečni presjek:



Slika 5.5 Skica poprečnog presjeka stupova okvira

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	HE 120 A		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	12	r (cm)	1,2	tf (cm)	0,8
h (cm)	11,4	A (cm ²)	53,83	tw (cm)	0,5
WEI,Y (cm ³)	106	Iy (cm ⁴)	606	Iw (cm ⁶)	6471,9
WPI,Y (cm ³)	119,58	Iz (cm ⁴)	231	IT (cm ⁴)	5,99
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0,30

Rezne sile uslijed kritičnih kombinacija za mjerodavni stup:

GSN 1	GSN 2
$M_{Ed} = 26,76 \text{ (kNm)}$	$M_{Ed} = 17,12 \text{ (kNm)}$
$V_{Ed} = 9,62 \text{ (kN)}$	$V_{Ed} = 5,67 \text{ (kN)}$
$N_{Ed} = -64,37 \text{ (kN)}$	$N_{Ed} = -81,34 \text{ (kN)}$

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = 14,8$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \epsilon = 58,32$$

$$14,8 \leq 58,32$$

Hrbat je klase 1

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (b - 2 \cdot r - t_w)}{t_f} = 5,68$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \varepsilon = 7,21$$

$$5,68 \leq 7,21$$

Pojasnice su klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{119,58 \cdot 35,5}{1} = 42,45 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd} = 42,45 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^1 = 26,76 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd} = 42,45 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^2 = 17,12 \text{ (kNm)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na moment savijanja.

Otpornost poprečnog presjeka na posmik:

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

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{17}{0,65} = 19,6$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,20} = 48,6$$

$$19,6 \leq 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika.

$$A_{v,z} \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 6,17 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 5,88 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$6,17 \text{ (cm}^2\text{)} \geq 5,88 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Uvjet zadovoljen.

$$V_{Rd,z} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{5,88 * 35,5}{1,7321} = 126,5 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,z} = 126,5 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^1 = 9,62 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,z} = 126,5 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^2 = 5,67 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{25,3 * 35,5}{1} = 898,15 \text{ (kN)}$$

$$N_{c,Rd} = 898,15 \text{ (kN)} \geq N_{Ed}^1 = 64,37 \text{ (kN)}$$

$$N_{c,Rd} = 898,15 \text{ (kN)} \geq N_{Ed}^2 = 81,34 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost poprečnog presjeka na interakciju M-V-N:

$$0,25 * N_{c,Rd} = 224,54 \text{ (kN)} \geq N_{Ed}^2 = 81,34 \text{ (kN)}$$

$$0,5 * V_{z,Rd} = 63,25 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^1 = 9,62 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila.

Otpornost elementa na savijanje:

$$L_{CR} = 295 \text{ (cm)}$$

$$z_G = \frac{h}{2} = 5,7 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad k_W = 1,0 \quad C_1 = 1,77 \quad C_2 = 0$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_W}\right)^2 * \frac{I_W}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right] = 10486 \text{ (kNm)}$$

$$= 104,86 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{PL,Y} * f_y}{M_{CR}}} = 0,636 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4$$

Reduciramo $M_{c,Rd}$ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.

Faktor imperfekcije za vrućevaljani I presjek uz $\frac{h}{b} = 0,9 \leq 2 : \alpha_{LT} = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2) = 0,748$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,88$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 0,88 * 42,45 = 37,36 \text{ (kNm)}$$

$$M_{B,Rd} = 37,36 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^1 = 26,76 \text{ (kNm)}$$

Otpornost elementa na uzdužnu tlačnu silu:

Izvijanje oko osi Y-Y:

$$L_{i,Y} = 590 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR,Y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_i^2} = 360,18 \text{ (kN)}$$

Za liniju izvijanja: b $\begin{cases} t_f \leq 100 \text{ (mm)} \\ \frac{h}{b} = 0,95 < 1,2 \end{cases}$ → faktor imperfekcije: $\alpha = 0,34$

$$\lambda_Y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR,Y}}} = 1,578$$

$$\Phi_Y = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 1,89$$

$$\chi_Y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,341$$

Izvijanje oko osi Z-Z:

$$L_{i,Z} = 295 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR,Z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 550,13 \text{ (kN)}$$

Za liniju izvijanja: c $\begin{cases} t_f \leq 100 \text{ (mm)} \\ \frac{h}{b} = 0,95 < 1,2 \end{cases}$ → faktor imperfekcije: $\alpha = 0,49$

$$\lambda_Z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR,Z}}} = 1,278$$

$$\Phi_Z = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 1,5$$

$$\chi_Z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,438$$

$$\chi = \min \{ \chi_Y ; \chi_Z \} = \chi_Y = 0,341$$

$$N_{B,Rd} = \chi^Y * \frac{A * f_y}{\gamma_{m1}} = 306,27 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 81,34 \text{ (kN)}$$

$$N_{B,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$306,27 \text{ (kN)} \geq 81,34 \text{ (kN)}$$

Otpornost elementa zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost elementa na interakciju M_b - N_b (jednoosno savijanje):

$$0,95 + 0,05\alpha_s \geq 0,4 \quad \begin{cases} \alpha_s = 0 \\ \psi = 0 \end{cases}$$

$$C_{MY} = C_{MLT} = 0,95$$

$$k_{yy} = C_{MY} \left(1 + (\chi_Y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_Y * N_{Rd}} \right) \leq C_{MY} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_Y * N_{Rd}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,727$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1\lambda_z}{C_{MLT}} * \frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi_Y * N_{Rk}} \right) \leq \left(1 - \frac{0,1}{C_{MLT}} * \frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi_Y * N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,941$$

$$\frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi_Y * N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,Y} * \gamma_{m1}}{\chi_{LT} * M_{Rk,Y}} \leq 1,0$$

$$0,27 + 0,529 = 0,799 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed} * \gamma_{m1}}{\chi_Z * N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed,Y} * \gamma_{m1}}{\chi_{LT} * M_{Rk,Y}} \leq 1,0$$

$$0,21 + 0,67 = 0,88 \leq 1,0$$

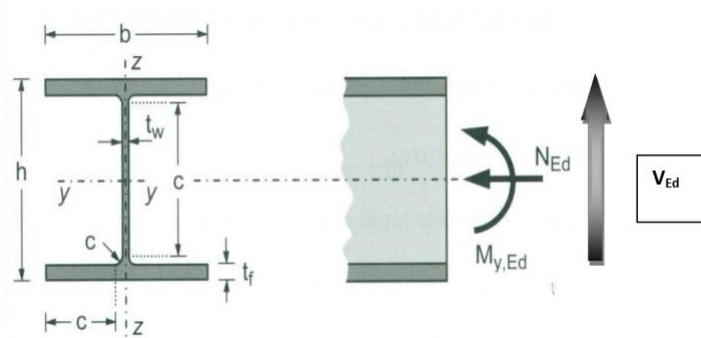
Profil HEA 120 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = 0,799 * 100 = 80\%$$

5.2. Sekundarna konstrukcija

5.2.1. Krovna področnica

Poprečni presjek:



Slika 5.6 Skica poprečnog presjeka krovnih področnica

Karakteristike poprečnog presjeka se nalaze u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	IPE 140		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	7,3	r (cm)	0,7	t_f (cm)	0,7
h (cm)	14	A (cm ²)	16,4	t_w (cm)	0,5
$W_{pI,Z}$ (cm ³)	19,3	I_y (cm ⁴)	541	I_w (cm ⁶)	1980
$W_{pI,Y}$ (cm ³)	88,3	I_z (cm ⁴)	44,9	I_T (cm ⁴)	2,45
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	ν	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN):

Y-Y	Z-Z
$M_{Ed,Y} = 18,64 \text{ (kNm)}$	$M_{Ed,Z} = 1,78 \text{ (kNm)}$
$V_{Ed,Y} = 2,21 \text{ (kN)}$	$V_{Ed,Z} = 22,99 \text{ (kN)}$
$N_{Ed} = -14,53 \text{ (kN)}$	

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje i tlak):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = 22,4$$

$$a = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{m0}}{2 \cdot t_w \cdot f_y} = 0,41 \text{ (cm)}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} * \left(\frac{d}{2} + a\right) = 0,54 \geq 0,50$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = 53,28$$

$$22,4 \leq 53,28$$

Hrbat je klase 1

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 * (b - 2 * r - t_w)}{t_f} = 3,86$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon = 7,29$$

$$3,89 \leq 7,29$$

Pojasnice su klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje oko osi Y-Y:

$$M_{c,Rd,Y} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{88,3 * 35,5}{1} = 31,34 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd,Y} = 31,34 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed,Y} = 18,46 \text{ (kNm)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje oko osi Z-Z:

$$M_{c,Rd,Z} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{19,3 * 35,5}{1} = 6,85 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd,Z} = 6,85 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed,Z} = 1,78 \text{ (kNm)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na savijanje oko osi Y-Y i osi Z-Z.

Otpornost poprečnog presjeka na posmik:

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

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{18,28}{0,36} = 22,5$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,92}{1,20} = 48,6$$

$$22,25 \leq 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika.

$$A_{v,y} = 2 * b * t_f = 10,34 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$V_{Rd,y} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{10,34 * 35,5}{1,7321} = 211,93 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,y} = 211,93 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,y} = 2,21 \text{ (kN)}$$

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f = 7,51 \text{ (cm}^2\text{)} \geq \eta * h_w * t_w = 7,56 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f = 7,51 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\eta * h_w * t_w = 7,56 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$7,51 \not\geq 7,56$$

$$A_{v,z} = 7,56 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$V_{Rd,z} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{7,56 * 35,5}{1,7321} = 154,95 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,z} = 154,95 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,z} = 22,99 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na posmik.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu:

$$N_{C,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{m0}} = 582,2 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 14,3 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost poprečnog presjeka na interakciju M-V-N:

$$\text{S obzirom da vrijedi } \begin{cases} 0,25 * N_{C,Rd} = 145,5 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 14,53 \text{ (kN)} \\ \frac{d * t * f_y}{2 * \gamma_{m0}} = 111,83 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 14,53 \text{ (kN)} \end{cases}$$

imamo nisku razina tlačne sile.

$$0,5 * V_{Rd,z} = 77,45 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,z} = 22,99 \text{ (kN)}$$

$$0,5 * V_{Rd,y} = 105,97 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,y} = 2,21 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila.

Otpornost poprečnog presjeka na plastičnu interakciju $M_{Ed,Y} - M_{Ed,Z}$:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = 0,025$$

$$\beta = 5 * n = 0,12 \leq 1$$

$$\beta = 1,0$$

$$\alpha = 2,0$$

$$\left(\frac{M_{Ed,Y}}{M_{N,V,Rd,Y}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed,Z}}{M_{N,V,Rd,Z}} \right)^\beta = \left(\frac{18,46}{31,34} \right)^2 + \left(\frac{1,78}{6,85} \right)^1 = 0,61 \leq 1,0$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na plastičnu interakciju momenata,

Otpornost elementa na uzdužnu tlačnu silu:

Izvijanje oko osi Y-Y:

$$L_{i,Y} = 480 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR,Y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_i^2} = 635,61 \text{ (kN)}$$

Za linija izvijanja: a $\begin{cases} t_f \leq 40 \text{ (mm)} \\ \frac{h}{b} = 1,9 > 1,2 \end{cases} \rightarrow$ faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\lambda_Y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR,Y}}} = 0,957$$

$$\Phi_Y = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 1,037$$

$$\chi_Y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,659$$

Izvijanje oko osi Z-Z:

$$L_{i,Z} = L_{i,Y} = 480 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR,Z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_i^2} = 52,75 \text{ (kN)}$$

Za liniju izvijanja: b $\begin{cases} t_f \leq 40 \text{ (mm)} \\ \frac{h}{b} = 1,9 > 1,2 \end{cases} \rightarrow$ faktor imperfekcije: $\alpha = 0,34$

$$\lambda_Z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{CR,Z}}} = 3,322$$

$$\Phi_Z = 0,5 [1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 6,549$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,082$$

$$\chi = \min \{ \chi_y ; \chi_z \} = \chi_z = 0,082$$

$$N_{B,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = 47,74 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 14,53 \text{ (kN)}$$

Otpornost elementa zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost elementa na savijanje:

$$L_{CR} = 480 \text{ (cm)}$$

$$z_G = \frac{h}{2} = 7,0 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad k_W = 1,0 \quad C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{CR} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L_{CR})^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_W}\right)^2 \cdot \frac{I_W}{I_z} + \frac{(k \cdot L_{CR})^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right] = 30,59 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{CR}}} = 1,012 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4$$

Reduciramo $M_{c,Rd}$ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.

Faktor imperfekcije za vrućevaljani I presjek uz $\frac{h}{b} = 1,9 \leq 2$: $\alpha_{LT} = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2) = 1,097$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,658$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = 20,62 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed,y} = 18,46 \text{ (kNm)}$$

Otpornost elementa zadovoljava na savijanje.

Otpornost elementa na interakciju M_b - V - N_b (dvoosno savijanje):

$$\begin{cases} \alpha_s = 0 \\ \psi = 0 \end{cases} \quad 0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{MLT} = 0,508$$

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

$$k_{yy} = 0,522$$

$$k_{zz} = C_{Mz} \left(1 + (2\lambda_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}} \right) \leq C_{Mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}} \right)$$

$$k_{zz}=0,727$$

$$k_{yz}=0,6k_{zz}=0,434$$

$$k_{yz}=0,434$$

$$k_{zy}=0,6k_{yy}=0,313$$

$$k_{zy}=0,313$$

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,Y}} + k_{yz} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{M_{Rk,Z}} = 0,035 + 0,467 + 0,11 = 0,612$$

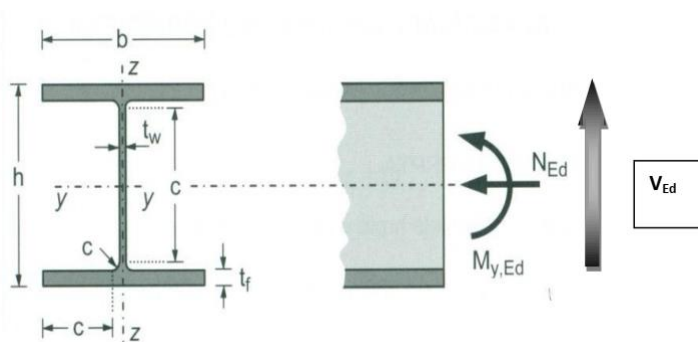
$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_Z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,Y}} + k_{zz} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{M_{Rk,Z}} = 0,304 + 0,28 + 0,189 = 0,77$$

Profil IPE 140 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = 0,77 * 100 = 77\%$$

5.2.2. Bočna področnica

Poprečni presjek:



Slika 5.7 Skica poprečnog presjeka bočnih področnica

Karakteristike poprečnog presjeka se nalaze u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	IPE 120		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	6,4	r (cm)	0,7	t_f (cm)	0,6
h (cm)	12	A (cm ²)	16,4	t_w (cm)	0,4
$W_{pI,Z}$ (cm ³)	13,6	I_y (cm ⁴)	541	I_w (cm ⁶)	890
$W_{pI,Y}$ (cm ³)	60,7	I_z (cm ⁴)	44,9	I_T (cm ⁴)	1,74
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	ν	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN):

Y-Y	Z-Z
$M_{Ed,Y} = 4,57$ (kNm)	$M_{Ed,Z} = 4,77$ (kNm)
$V_{Ed,Y} = 5,92$ (kN)	$V_{Ed,Z} = 5,68$ (kN)

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2*t_f-2*r}{t_w} = 23,5$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \epsilon = 58,32$$

$$23,5 \leq 58,32$$

Hrbat je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

Savijanje oko osi Y-Y:

$$M_{c,Rd,Y} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{60,7 * 35,5}{1} = 21,55 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd,Y} = 21,55 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed,Y} = 4,57 \text{ (kNm)}$$

Savijanje oko osi Z-Z:

$$M_{c,Rd,Z} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{13,6 * 35,5}{1} = 4,83 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd,Z} = 4,83 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed,Z} = 4,77 \text{ (kNm)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na savijanje.

Otpornost poprečnog presjeka na posmik:

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

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{18,28}{0,36} = 27$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

$$27 \leq 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika.

$$A_{v,y} = 2 * b * t_f = 8,44 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$V_{Rd,y} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{8,44 * 35,5}{1,7321} = 172,99 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,y} = 172,99 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,y} = 5,92 \text{ (kN)}$$

$$A_{v,z} \geq \eta * h_w * t_w$$

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f = 6,7 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\eta * h_w * t_w = 5,18 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$6,7 \geq 5,18$$

Uvjet zadovoljen.

$$V_{Rd,z} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{6,7 * 35,5}{1,7321} = 137,32 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,z} = 137,32 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,z} = 5,68 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na posmik.

Otpornost poprečnog presjeka na interakciju M-V-N:

$$0,5 * V_{Rd,z} = 68,66 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,z} = 5,68 \text{ (kN)}$$

$$0,5 * V_{Rd,y} = 86,5 \text{ (kN)} \geq V_{Ed,y} = 5,92 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila.

Otpornost poprečnog presjeka na plastičnu interakciju $M_{Ed,y} - M_{Ed,z}$:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = 0,0$$

$$\beta = 5 * n = 0 \leq 1 \rightarrow \beta = 1,0$$

$$\alpha = 2,0$$

$$\left(\frac{M_{Ed,Y}}{M_{N,V,Rd,Y}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed,Z}}{M_{N,V,Rd,Z}}\right)^\beta = \left(\frac{4,57}{21,55}\right)^2 + \left(\frac{4,77}{4,83}\right)^1 = 1,03 \leq 1,0$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na plastičnu interakciju momenata.

Otpornost elementa na savijanje:

$$L_{CR} = 480 \text{ (cm)}$$

$$z_G = \frac{h}{2} = 6,0 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z}} + (C_2 * z_g)^2 - C_2 * z_g \right] = 6,13 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,Y} * f_y}{M_{CR}}} = 1,874 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4$$

Reduciramo $M_{c,Rd}$ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.

Faktor imperfekcije za vrućevaljani I presjek uz $\frac{h}{b} = 1,9 \leq 2 : \alpha_{LT} = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2) = 2,432$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,251$$

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 5,41 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed}^Y = 4,57 \text{ (kNm)}$$

Otpornost elementa zadovoljava na savijanje.

Otpornost elementa na interakciju M_b - V - N_b (dvoosno savijanje):

$$\begin{cases} \alpha_s = -0,56 \\ \psi = 0,83 \end{cases} \quad 0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{MLT} = 0,348$$

$$k_{yy} = C_{MY} \left(1 + (\lambda_Y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_Y * N_{Rd}}\right) \leq C_{MY} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_Y * N_{Rd}}\right)$$

$$k_{yy} = 0,348$$

$$k_{zz} = C_{MZ} \left(1 + (2\lambda_Z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_Z * N_{Rd}}\right) \leq C_{MZ} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_Z * N_{Rd}}\right)$$

$$k_{zz}=0,348$$

$$k_{yz}=0,6k_{zz}=0,209$$

$$k_{yz}=0,209$$

$$k_{zy}=0,6k_{yy}=0,209$$

$$k_{zy}=0,209$$

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,Y}} + k_{yz} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{M_{Rk,Z}} = 0,0 + 0,294 + 0,206 = 0,5 \leq 1,0$$

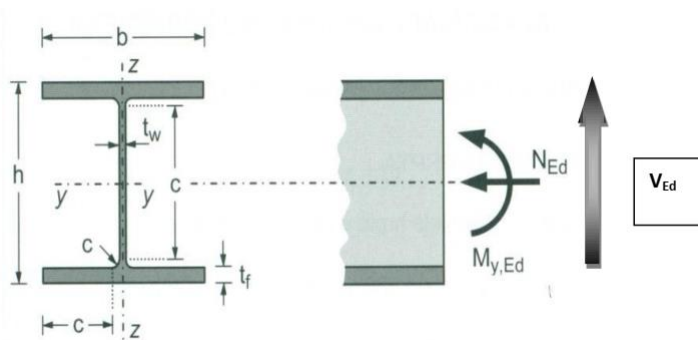
$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_Z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed,Y} \cdot \gamma_{m1}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,Y}} + k_{zz} \frac{M_{Ed,Z} \cdot \gamma_{m1}}{M_{Rk,Z}} = 0,0 + 0,177 + 0,344 = 0,52 \leq 1,0$$

Profil IPE 120 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = 0,52 * 100 = 52\%$$

5.2.3. Zabatni stupovi

Poprečni presjek:



Slika 5.8 Skica poprečnog presjeka zabatnih stupova

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	HE 160 A		$\epsilon = 0,81$	
KVALITETA ČELIKA:	S355	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
b (cm)	20	r (cm)	1,8	t_f (cm)	1
h (cm)	19	A (cm ²)	53,8	t_w (cm)	0,7
$W_{El,Y}$ (cm ³)	389	I_y (cm ⁴)	3690	I_w (cm ⁶)	108000
$W_{Pl,Y}$ (cm ³)	429,17	I_z (cm ⁴)	1640	I_T (cm ⁴)	21

MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije:

$$M_{Ed} = 19,24 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 11,29 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

Klasifikacija profila:

- Hrbat (savijanje):

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = 19,14$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \varepsilon = 58,32$$

$$19,14 \leq 58,32$$

Hrbat je klase 1

- Pojasnice (tlak):

$$\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (b - 2 \cdot r - t_w)}{t_f} = 7,25$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon = 7,29$$

$$7,25 \leq 7,29$$

Pojasnice su klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{119,58 \cdot 35,5}{1} = 152,36 \text{ (kNm)}$$

$$M_{c,Rd} = 152,36 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed} = 19,24 \text{ (kNm)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na savijanje.

Otpornost poprečnog presjeka na posmik:

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

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{17}{0,65} = 24,29$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{0,92}{1,20} = 48,6$$

$$24,9 \leq 48,6$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja hrpta uslijed djelovanja posmika.

$$A_{v,z} \geq \eta * h_w * t_w!$$

$$A_{v,z} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f = 20,1 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$\eta * h_w * t_w = 14,28 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$20,1 \geq 14,28$$

Uvijet zadovoljen.

$$A_{v,z} = 20,1 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$V_{Rd,z} = V_{Pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m0}} = \frac{20,1 * 35,5}{1,7321} = 411,96 \text{ (kN)}$$

$$V_{Rd,z} = 411,96 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^1 = 11,29 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na posmik.

Otpornost poprečnog presjeka na interakciju M-V-N (za kritičniju V-N kombinaciju):

$$0,5 * V_{z,Rd} = 205,96 \text{ (kN)} \geq V_{Ed}^1 = 11,29 \text{ (kN)}$$

Nema redukcije $M_{c,Rd}$ uslijed interakcije reznih sila.

Otpornost elementa na savijanje:

$$L_{CR} = 682 \text{ (cm)}$$

$$z_G = \frac{h}{2} = 9,5 \text{ (cm)}$$

$$k = 1,0 \quad k_w = 1,0 \quad C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$

$$M_{CR} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{CR})^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{CR})^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right] = 11544 \text{ (kNm)}$$

$$= 115,44 \text{ (kNm)}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{PL,Y} * f_y}{M_{CR}}} = 1,15 \geq \lambda_{LT,0} = 0,4$$

Reduciramo $M_{c,Rd}$ zbog mogućnosti instabiliteta elementa.

Faktor imperfekcije za vrućevaljani I presjek uz $\frac{h}{b} = 0,95 \leq 2 : \alpha_{LT} = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2) = 1,261$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,56$$

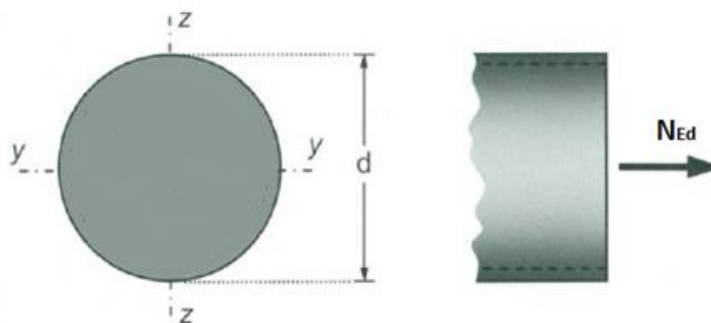
$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m1}} = 0,56 * 152,36 = 85,32 \text{ (kNm)} \geq M_{Ed} = 19,24 \text{ (kNm)}$$

Profil HEA 160 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{19,24}{85,32} * 100 = 23\%$$

5.2.4. Krovni spregovi

Poprečni presjek dijagonala:



Slika 5.9 Skica poprečnog presjeka dijagonala krovnih spregova

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	R12	$\epsilon = 0,81$
KVALITETA ČELIKA:	S275	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:			
d (cm)	1,2	A (cm ²)	1,1304

MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 5.2.3.):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 20,53 \text{ (kN)}$$

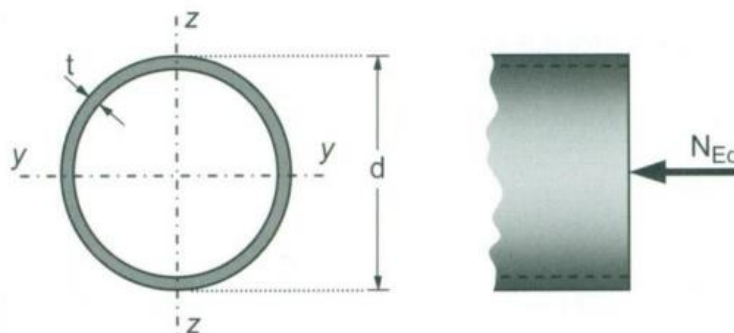
Otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu:

$$N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1304 \cdot 35,5}{1} = 40,13 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 20,53 \text{ (kN)}$$

Profil R12 zadovoljava otpornost poprečnog presjeka s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{20,53}{40,13} * 100 = 51\%$$

Poprečni presjek vertikala:



Slika 5.10 Skica poprečnog presjeka vertikala krovnog sprega

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	CFCHS 60.3X5	$\epsilon = 0,81$		
KVALITETA ČELIKA:	S275	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)		1,2	A (cm ²)		8,69
I _y (cm ⁴)		33,48	I _z (cm ⁴)		33,48
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0,30

Rezne sile koje djeluju na element:

$$N_{ED} = 20,37 \text{ (kN) (tlak)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu:

$$N_{C,Rd} = N_{Pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}} = 246,8 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 20,37 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava na uzdužnu tlačnu silu.

Otpornost elementa na uzdužnu tlačnu silu:

$$L_i = 480 \text{ (cm)}$$

$$N_{CR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_i^2} = 30,12 \text{ (kN)}$$

Faktor imperfekcije za vruće dogotovljeni element, linija izvijanja a: $\alpha = 0,21$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{CR}}} = 3,2 \rightarrow \Phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 5,746$$

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

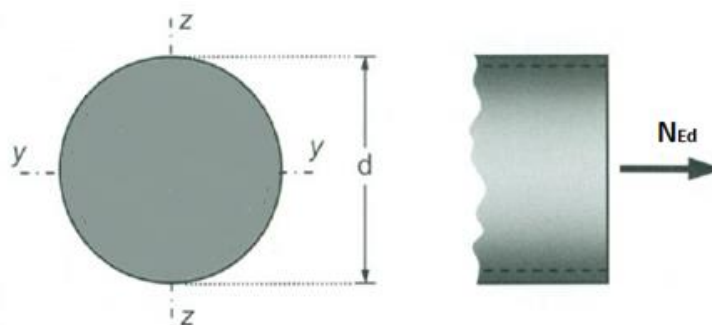
$$N_{B,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = 24,68 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 20,37 \text{ (kN)}$$

Profil CFCHS 60.3x5 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

$$\eta = \frac{20,37}{24,68} * 100 = 83\%$$

5.2.5. Bočni spregovi

Poprečni presjek:



Slika 5.11 Skica poprečnog presjeka bočnih spregova

Karakteristike poprečnog presjeka su navedene u tablici:

PROFIL:	vrućevaljani	R12	$\epsilon = 0,81$		
KVALITETA ČELIKA:	S275	$f_y = 35,5 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$	$f_u = 51,0 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$		
GEOMETRIJSKI PODATCI PROFILA:					
d (cm)		1,2	A (cm ²)		1,1304
MEHANIČKI PODATCI ČELIKA:					
E (kN/cm ²)	21000	G (kN/cm ²)	8077	v	0,30

Rezne sile uslijed kritične kombinacije (GSN 5.2.3.):

$$M_{Ed} = 0 \text{ (kNm)}$$

$$V_{Ed} = 0 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 32,05 \text{ (kN)}$$

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu vlačnu silu:

$$N_{T,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1304 \cdot 35,5}{1} = 40,13 \text{ (kN)} \geq N_{Ed} = 32,05 \text{ (kN)}$$

Profil R12 zadovoljava otpornost elementa s iskoristivosti:

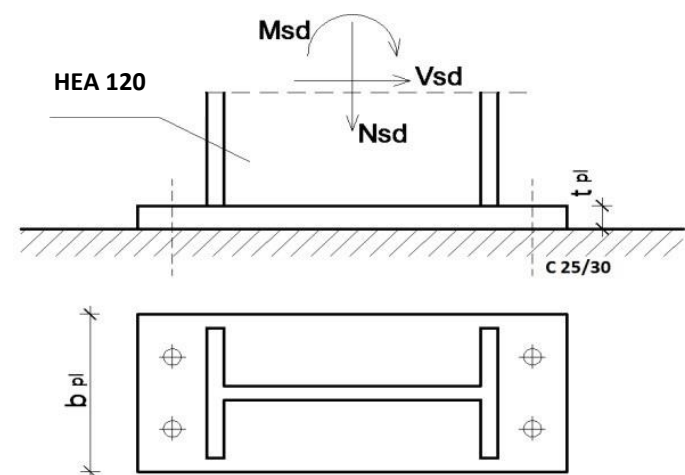
$$\eta = \frac{32,05}{40,13} * 100 = 80\%$$

5.3. Iskaz upotrijebljenih profila

ELEMENT	ODABRANI PROFIL	$\eta_{\text{iskorištenost}}^{\text{GSN}}$ (%)
Gornji pojas rešetke	SHS 90/90/12	96
Donji pojas rešetke	SHS 90/90/4	59
Dijagonale rešetke	SHS 40/40/5	93
Vertikale rešetke	SHS 40/40/5	82
Stupovi okvira	HEA120	88
Zabatni stupovi	HEA160	23
Krovni spreg (zatege)	R12	51
Krovni spreg (vertikale)	CFCHS 60.3x5	83
Bočni spreg (zatege)	R12	80
Krovna podrožnica	IPE140	77
Bočna podrožnica	IPE120	52

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA KONSTRUKCIJE

6.1. Upeti spoj temelj – stup



Slika 6.1 Detalj spoja stup - temelj

GSN 1	GSN 2
$M_{Ed} = 26,76$ (kNm)	$M_{Ed} = 17,12$ (kNm)
$V_{Ed} = 9,62$ (kN)	$V_{Ed} = 5,67$ (kN)
$N_{Ed} = -64,37$ (kN)	$N_{Ed} = -81,34$ (kN)

PODATCI O PROFILU			
b (cm)	14	t_f (cm)	0,9
h (cm)	13,3	t_w (cm)	0,6
PODATCI O VIJCIMA			
φ (mm)	$\varphi 20$	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	5.6	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500

GSN 1

$$N_P^M = \frac{M_{Ed}}{h - t_f} = \frac{26,76}{0,114 - 0,008} = 215,81 \text{ (kN)}$$

$$N_P^N = \frac{A^P}{A} N_{Ed} = \frac{14 \cdot 0,9}{31,4} \cdot 64,37 = 25,83 \text{ (kN)}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$F_{W,Ed} = N_P = N_P^M + N_P^N = 215,81 - 25,83 = 189,98 \text{ (kN)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 0,416 \text{ (m)}$$

$$a_{MAX} = 0,7 * t_{MIN} = 0,7 * 0,4 = 0,42 \text{ (cm)}$$

Usvojeno: $a = 4 \text{ (mm)}$

Otpornost vara na uzdužnu silu:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk} * L_{var}^F}{1,25 * 100} = \frac{130,9}{1,25} * \frac{280}{100} = 1293,22 \text{ (kN)} \geq F_{W,Ed} = 189,98 \text{ (kN)}$$

Otpornost vara na poprečnu silu:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk} * L_{var}^W}{1,25 * 100} = \frac{130,9}{1,25} * \frac{262,4}{100} = 274,79 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 9,62 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

Za pretpostavljene vijke M20:

$$C_{MIN} = 2d + a\sqrt{2} = 2 * 20 + 4\sqrt{2} = 45,65 \text{ (mm)}$$

Usvojeno: $C = 50 \text{ (mm)}$

$$X_1 = C + h - \frac{t_f}{2} = 50 + 133 - 4,5 = 178,5 \text{ (mm)} = 0,1785 \text{ (m)}$$

$$X_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 416 - 55 + 4,5 = 365,5 \text{ (mm)} = 0,3655 \text{ (m)}$$

$$N_{Ed} * X_2 = F_{T,Ed} * X_1 \rightarrow F_{T,Ed} = N_{Ed} * \frac{X_2}{X_1} = 132,54 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka na uzdužnu silu:

$$F_{T,Rd} = \frac{F_{T,Rk}}{1,25} = \frac{110,3}{1,25} = 88,24 \text{ (kN)} \geq \frac{F_{T,Ed}}{2} = 66,27 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka na posmik:

$$F_{V,Rd} = \frac{F_{V,Rk}}{1,25} = \frac{73,5}{1,25} = 58,80 \text{ (kN)} \geq \frac{V_{Ed}}{4} = 2,405 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka na interakciju uzdužne i poprečne sile:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{T,Ed}}{1,4 \cdot F_{T,Rd}} = 0,0409 + 0,5364 = 0,5773 \leq 1,00$$

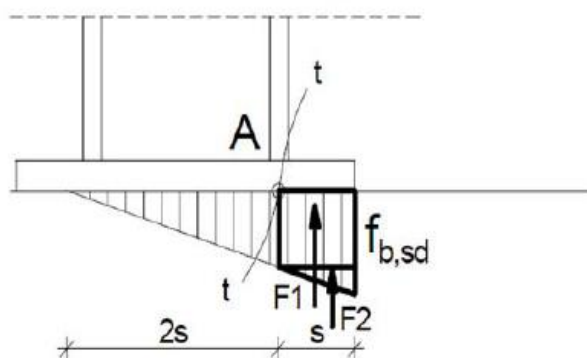
Proračun dimenzija pločice:

$$a_{PL}^{MIN} = h + 2(c + e_1) = 133 + 2(50 + 50) = 333 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 140 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 171,31 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = p_2 + 2e_2 = 70 + 2 \cdot 40 = 150 \text{ (mm)}$$

Odabrano: 400x200 (mm)

Proračun debljine pločice:

Slika 6.2 Pritisak po omotaču rupe

Pritisak po omotaču rupe:

$$F_{B,Rd} = \frac{F_{B,Rk} t_{PL}}{1,25 \cdot 10} = \frac{193,2 t_{PL}}{1,25 \cdot 10} = 15,456 t_{PL} \geq F_{B,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 2,405 \text{ (kN)}$$

$$t_{PL} \geq 0,1556 \text{ (mm)}$$

Savijanje pločice zbog odgovora betona:

$$S = (280 - 133 + 9) / 2 = 78 \text{ (mm)} = 8 \text{ (cm)}$$

$$R = F_{T,Ed} + N_{Ed} = 132,54 + 64,37 = 196,91 \text{ (kN)}$$

Naprezanje u betonu:

$$f_{c,Ed} = 2R / (3 \cdot s \cdot b_{PL}) = 1,63 \text{ (kN/cm}^2) \leq f_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 1,67 \text{ (kN/cm}^2)$$

Savijanje pločice:

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} * f_{b,Sd} * s * b_{pl} * \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} f_{b,Sd} * s * b}{2} * \frac{2}{3} = \frac{2}{3} * 2405 * 0,8 * 0,20 * \frac{0,8}{2} + \frac{\frac{1}{3} * 2405 * 0,8 * 0,20}{2} * \frac{2}{3} * 0,8$$

$$= 2,91 \text{ (kNm)}$$

Savijanje pločice zbog vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{T,Ed} \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 132,54 (0,05 + 0,0045) = 7,223 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed}^{MAX} \leq \frac{W_{MIN} * f_y}{1,10} \rightarrow t_{PL}^2 \geq \frac{1,1 * M_{Ed}^{MAX}}{f_y} \frac{6}{b_{PL}} = 6,713$$

$$t_{PL} \geq 2,59 \text{ (cm)}$$

GSN 2

$$N_p^M = \frac{M_{Ed}}{h - t_f} = \frac{17,12}{0,133 - 0,009} = 138,06 \text{ (kN)}$$

$$N_p^N = \frac{A^P}{A} N_{Ed} = \frac{14 * 0,9}{31,4} * 81,34 = 32,64 \text{ (kN)}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$F_{W,Ed} = N_p = N_p^M + N_p^N = 138,06 - 32,64 = 105,42 \text{ (kN)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 0,2104 \text{ (m)}$$

$$a_{MAX} = 0,7 * t_{MIN} = 0,7 * 0,6 = 0,42 \text{ (cm)}$$

Usvojeno: a = 4 (mm)

Otpornost vara na uzdužnu silu:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk} * L_{var}^F}{1,25 * 100} = \frac{130,9 * 280}{1,25 * 100} = 1293,22 \text{ (kN)} \geq F_{W,Ed} = 105,42 \text{ (kN)}$$

Otpornost vara na poprečnu silu:

$$F_{W,Rd} = \frac{F_{W,Rk} * L_{var}^W}{1,25 * 100} = \frac{130,9 * 262,4}{1,25 * 100} = 274,79 \text{ (kN)} \geq V_{Ed} = 5,67 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

Za pretpostavljene vijke M20:

$$C_{\text{MIN}} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,65 \text{ (mm)}$$

Usvojeno: $C = 50 \text{ (mm)}$

$$X_1 = C + h \frac{t_f}{2} = 50 + 133 - 4,5 = 178,5 \text{ (mm)} = 0,1785 \text{ (m)}$$

$$X_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 416 - 55 + 4,5 = 365,5 \text{ (mm)} = 0,3655 \text{ (m)}$$

$$N_{\text{Ed}} \cdot X_2 = F_{\text{T,Ed}} \cdot X_1 \rightarrow F_{\text{T,Ed}} = N_{\text{Ed}} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 166,55 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka na uzdužnu silu:

$$F_{\text{T,Rd}} = \frac{F_{\text{T,Rk}}}{1,25} = \frac{110,3}{1,25} = 88,24 \text{ (kN)} \geq \frac{F_{\text{T,Ed}}}{2} = 83,28 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka na posmik:

$$F_{\text{V,Rd}} = \frac{F_{\text{V,Rk}}}{1,25} = \frac{73,5}{1,25} = 58,80 \text{ (kN)} \geq \frac{V_{\text{Ed}}}{4} = 1,418 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka na interakciju uzdužne sile i posmika:

$$\frac{F_{\text{V,Ed}}}{F_{\text{V,Rd}}} + \frac{F_{\text{T,Ed}}}{1,4 \cdot F_{\text{T,Rd}}} = 0,02412 + 0,6741 = 0,69826 \leq 1,00$$

Proračun dimenzija pločice:

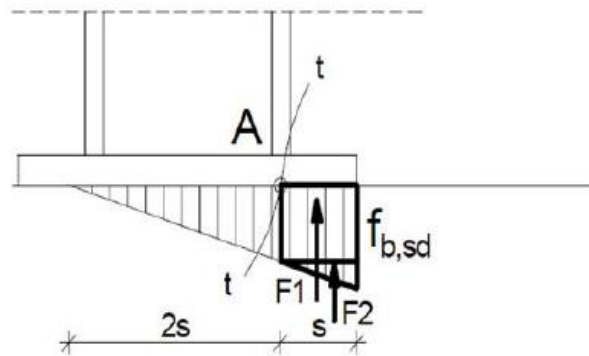
$$a_{\text{PL}}^{\text{MIN}} = h + 2(c + e_1) = 133 + 2(50 + 50) = 333 \text{ (mm)}$$

$$b_{\text{PL}}^{\text{MIN}} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 140 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 171,31 \text{ (mm)}$$

$$b_{\text{PL}}^{\text{MIN}} = p_2 + 2e_2 = 70 + 2 \cdot 40 = 150 \text{ (mm)}$$

Odabrano: 400x200 (mm)

Proračun debljine pločice:



Slika 6.3 Pritisak po omotaču rupe

Pritisak po omotaču rupe:

$$F_{B,Rd} = \frac{F_{B,Rk}}{1,25} \frac{t_{PL}}{10} = \frac{193,2}{1,25} \frac{t_{PL}}{10} = 15,456 t_{PL} \geq F_{B,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 1,418 \text{ (kN)}$$

$$t_{PL} \geq 0,1556 \text{ (mm)}$$

Savijanje pločice zbog odgovora betona:

$$S = (280 - 133 + 9) / 2 = 78 \text{ (mm)} = 8 \text{ (cm)}$$

$$R = F_{T,Ed} + N_{Ed} = 166,55 + 81,34 = 247,89 \text{ (kN)}$$

Naprežanje u betonu:

$$f_{c,Ed} = 2R / (3 * s * b_{PL}) = 1,03 \text{ (kN/cm}^2) \leq f_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 1,67 \text{ (kN/cm}^2)$$

Savijanje pločice:

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} * f_{b,sd} * s * b_{PL} * \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} f_{b,sd} * s * b}{2} * \frac{2}{3} = \frac{2}{3} * 1418 * 0,8 * 0,20 * \frac{0,8}{2} + \frac{\frac{1}{3} * 1418 * 0,8 * 0,20}{2} * \frac{2}{3} * 0,8 = 0,81 \text{ (kNm)}$$

Savijanje pločice zbog vlačnih vijaka:

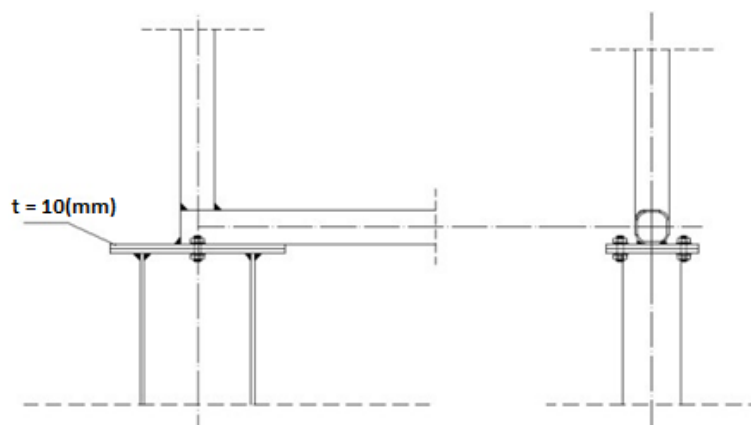
$$M_{Ed} = F_{T,Ed} \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 166,55 (0,05 + 0,0045) = 9,077 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed}^{MAX} \leq \frac{W_{MIN} * f_y}{1,10} \rightarrow t_{PL}^2 \geq \frac{1,1 * M_{Ed}^{MAX}}{f_y} \frac{6}{b_{PL}} = 8,37$$

$$t_{PL} \geq 2,89 \text{ (cm)}$$

Odabrana dimenzija pločice: 400x200x30 (mm)

6.2. Spoj stup-rešetka



Slika 6.4 Detalj spoja stup - rešetka

DJELOVANJA:	
$N_{Ed} = 15,30$ (kN)	(tlak)
$V_{Ed} = 1,06$ (kN)	

PODACI O POPREČNOM PRESJEKU SHS 90/90/4			
b(cm)	9	t(cm)	0,4
h(cm)	9		
PODATCI O PROFILU HEA 120			
b (cm)	12	t_f (cm)	0,8
h (cm)	11,4	t_w (cm)	0,5
PODATCI O VIJCIMA			
φ (mm)	$\varphi 12$	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	5.6	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500

Zavar u uvali:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{15,37^2 + 1,06^2} = 15,41 \text{ (kN)}$$

Kontrola varova:

Duljina vara kod stupa:

$$l = 2 * 120 + 2 * (114 - 2 * 8) = 436 \text{ (mm)}$$

Maksimalna debljina vara:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 5 = 3,5 \text{ (mm)}$$

Odabrano: $a = 3 \text{ (mm)}$

Otpornost vara:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98,1}{1,25} \cdot \frac{436}{100} = 342,17 \text{ (kN)} > F_{w,Ed} = 15,41 \text{ (kN)}$$

Duljina vara kod rešetke:

$$l = 2 * 90 = 180 \text{ (mm)}$$

Maksimalna debljina vara:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 4 = 2,8 \text{ (mm)}$$

Odabrano: $a = 3 \text{ (mm)}$

Otpornost vara:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98,1}{1,25} \cdot \frac{180}{100} = 141,26 \text{ (kN)} > F_{w,Ed} = 15,41 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

Pretpostavka: vijci M12, udaljenost c_{\min} iznosi:

Profil HEA 120

$$c_{\min} = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 12 + 3 * \sqrt{2} = 28,24 \text{ (mm)}$$

Profil SHS 90/90/4

$$c_{\min} = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 12 + 3 * \sqrt{2} = 28,24 \text{ (mm)}$$

Odabrano: $c = 30 \text{ (mm)}$

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,24 \text{ (kN)}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{1,06}{2} = 0,53 \text{ (kN)} < F_{v,Rd} = 20,24 \text{ (kN)}$$

Napomena:

Za kombinaciju se javlja manja poprečna sila, a uzdužna sila je tlačna pa nije potrebno provjeravati tu kombinaciju.

Proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,min} = h + 2 * a\sqrt{2} + 20 = 114 + 2 * 3\sqrt{2} + 20 = 143 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 * (c + e_1) = 120 + 2 * (30 + 30) = 190 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,min} = 2 * e_2 + p_2 = 2 * 25 + 40 = 90 \text{ (mm)}$$

Odabrano: 200 x 250 (mm)

Proračun debljine ploče t_{pl} :

Pritisak po omotaču rupe od osnovnog materijala:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = 0,53 \text{ (kN)} < F_{b,Ed} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t_{pl} > \frac{0,265 \cdot 1,25 \cdot 10}{117,7} = 0,028 \text{ (mm)}$$

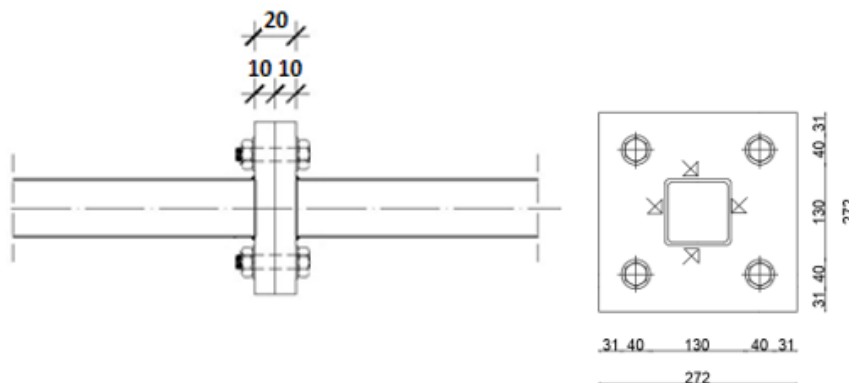
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} * c = 15,41 * 0,028 = 0,4315 \text{ (kNm)}$$

$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 9,15 * 6}{25 * 35,5}} = 0,57 \text{ (cm)} \rightarrow 6 \text{ (mm)}$$

Usvojene dimenzije ploče su: 200 x 250 x 10 mm

6.3. Vlačni nastavak rešetke donjeg pojasa



Slika 6.3.1. Detalj nastavka donjeg pojasa

Djelovanje na konstrukciju:

$$N_{Ed} = 289,72 \text{ (kN)}$$

Poprečni presjek donjeg pojasa:

SHS 90/90/4

Kontrola varova:

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ (mm)}$$

odabrano $a = 4 \text{ (mm)}$

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 4 \cdot 90 = 360 \text{ (mm)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{360}{100} = 376,992 \text{ (kN)} > N_{Ed} = 289,72 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka:

Pretpostavka: vijci M20 k.v. 5.6.

n=4 vijka

Otpornost vijaka na uzdužnu vlačnu silu:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,tk}}{\gamma_{M1}} = \frac{110,3}{1,25} = 88,24 \text{ (kN)}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{289,72}{4} = 72,43 \text{ (kN)} < F_{t,Rd} = 88,24 \text{ (kN)}$$

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče:

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 4\sqrt{2} = 45,65 \text{ (mm)}$$

Usvojeno $c = 50 \text{ (mm)}$.

$$b_{PL}^{MIN} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 140 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ (mm)} = 171,31 \text{ (mm)}$$

$$b_{PL}^{MIN} = p_2 + 2e_2 = 70 + 2 \cdot 40 = 150 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče su 272*272 (mm).

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl} :

$$e = (272 - 90) / 2 - 55 = 36 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl} = 272 \text{ (mm)}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 72,43 \cdot 0,036 = 5,21 \text{ (kNm)}$$

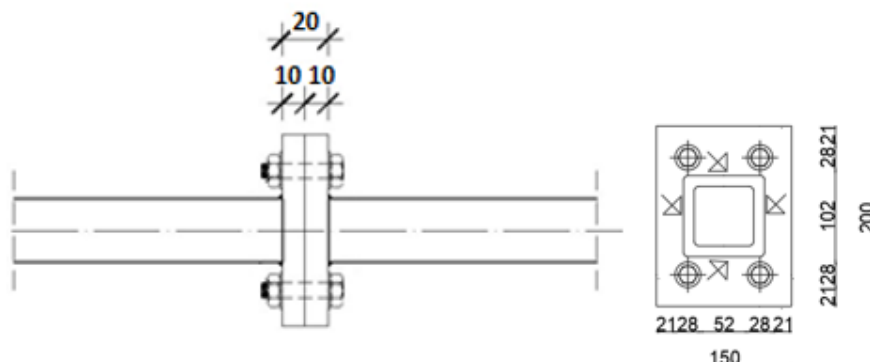
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 521 \cdot 6}{272 \cdot 35,5}} = 0,597 \text{ (cm)}$$

S obzirom da je minimalna debljina ploče 5,97cm, zadovoljava ploča debljine $t_{pl} = 10 \text{ (mm)}$

Odabrane dimenzije ploče su: 272x272x10 (mm)

6.4. Nastavak gornjeg pojasa rešetke



Slika 6.5 Detalj nastavka gornjeg pojasa

Djelovanje:

Uzdužne sile od kombinacija na u gornjem pojasu su tlačne sile, stoga djeluju stabilizirajuće na spoj. Zbog toga nećemo proračunavati dimenzije pločica, nego ćemo je uzeti kao konstruktivni element.

PODATCI O POPREČNOM PRESJEKU SHS 90/90/12			
b (cm)	9	t (cm)	1,2
h (cm)	9		
PODATCI O VIJCIMA			
φ (mm)	φ 12	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	5.6	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500

Kontrola varova:

Maksimalna debljina vara:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 12 = 8,4 \text{ (mm)}$$

Odabrano: $a = 4 \text{ (mm)}$

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 90 \cdot 2 + 90 \cdot 2 = 360 \text{ (mm)}$$

Proračun vijaka:

Pretpostavka: vijci M 12 k.v. 5.6

$n = 4$ vijka

Proračun ploče:

$$c = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 12 + 4 * \sqrt{2} = 29,66(\text{mm}) \approx 30(\text{mm})$$

$$b_{\text{pl,min}} = 2 * e_2 + p_2 = 2 * 25 + 40 = 90 \text{ (mm)}$$

$$b_{\text{pl,min}} = b + 2 * a\sqrt{2} + 20 = 90 + 2 * 4\sqrt{2} + 20 = 101,31 \text{ (mm)} \approx 102 \text{ (mm)}$$

$$h_{\text{pl,min}} = 2 * e_2 + p_2 = 2 * 25 + 40 = 90 \text{ (mm)}$$

$$h_{\text{pl,min}} = h + 2 * a\sqrt{2} + 20 = 90 + 2 * 4\sqrt{2} + 20 = 121,31 \text{ (mm)} \approx 122 \text{ (mm)}$$

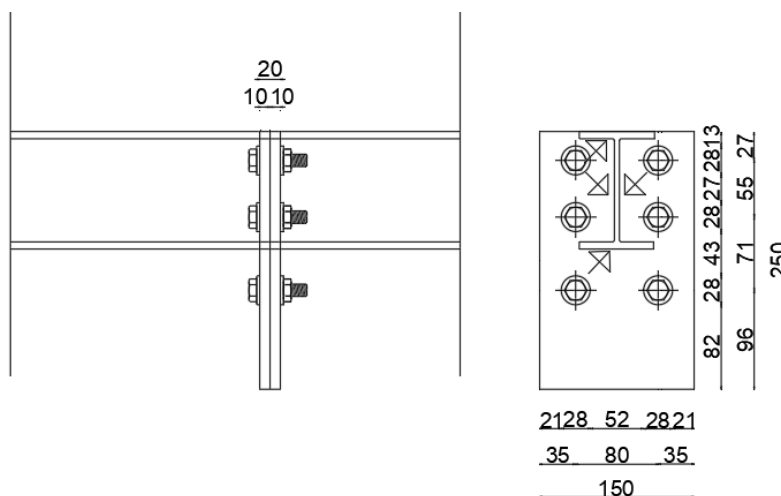
Odabrane dimenzije ploče su 200 x 150 (mm), zbog zahtjeva vijaka.

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl} :

Pošto nemamo uzdužnu vlačnu silu, nismo računali mjerodavni moment M_{Ed} , pa za debljinu ploče uzimamo $t_{\text{pl}}=10 \text{ mm}$

Odabrane dimenzije ploče su: 200 x 150 x 10 (mm)

6.5. Nastavak krovne podrožnice



Slika 6.6 Detalj nastavka krovnih podrožnica

Nastavci krovnih podrožnica postavljaju se na udaljenosti 7m za podrožnice na krajevima hale te na udaljenosti 5,8m kroz unutrašnjost hale. U tim spojevima se javljaju minimalni momenti.

DJELOVANJA:
$M_{ED} = 1,04$ (kNm)
$V_{ED} = 13,22$ (kN)
$N_{ED} = 0$ (kN)

PODATCI O PROFILU IPE 140			
h (cm)	14	t_F (cm)	0,7
b (cm)	7,3	t_w (cm)	0,5
PODATCI O VIJCIMA			
φ (mm)	φ M12	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	5.6	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500

Raspodjela sila po presjeku nosača

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:

$$N_p^M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{1,04}{(0,140 - 0,007)} = 7,82 \text{ (kN)}$$

Sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} * N_{Ed} = 0,0 \text{ (kN)}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^M + N_p^N = 7,82 + 0,0 = 7,82 \text{ (kN)} = F_{w,Ed}$$

Kontrola vara na pojasnicima i hrptu

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 * 73 = 146 \text{ (mm)}$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 * (140 - 2 * 7) = 252 \text{ (mm)}$$

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

$$a_{max} = 0,7 * t_{min} = 0,7 * 5 = 3,5 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var a=3 (mm)

Otpornost vara na uzdužnu silu:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98,1}{1,25} \cdot \frac{146}{100} = 114,58 \text{ (kN)} > F_{w,Ed} = 7,82 \text{ (kN)}$$

Otpornost vara na poprečnu silu:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98,1}{1,25} \cdot \frac{252}{100} = 197,78 \text{ (kN)} > V_{Ed} = 13,22 \text{ (kN)}$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 12 k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 * d + a * \sqrt{2} = 2 * 12 + 3 * \sqrt{2} = 28,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno c=30 (mm)

Otpornost vijaka na vlak:

Vlačna sila se raspoređuje na dva vijaka.

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,9}{1,25} = 30,32 \text{ (kN)} > F_{t,Ed} = \frac{N_p}{2} = \frac{7,82}{2} = 3,91 \text{ (kN)}$$

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 6 vijaka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,24 \text{ (kN)} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = \frac{13,22}{6} = 2,2 \text{ (kN)}$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{3,91}{1,4 * 30,32} + \frac{2,2}{20,24} = 0,2 < 1,0$$

Proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,min} = h + (c + e_1) = 140 + (30 + 30) = 200 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,min} = p_2 + 2 * e_2 = 40 + 2 * 25 = 90 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 250x 150(mm).

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe od osnovnog materijala:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{6} = 2,2 \text{ (kN)} < F_{b,Ed} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t_{pl} > \frac{2,2 \cdot 1,25 \cdot 10}{117,7} = 0,23 \text{ (mm)}$$

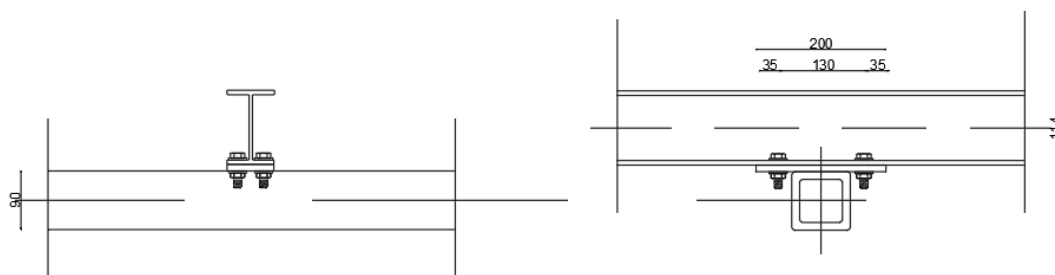
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} * c = 3,91 * 0,029 = 0,1134 \text{ (kNm)}$$

$$\rightarrow t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1,1 * M_{Ed} * 6}{b_{pl} * f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 * 11,34 * 6}{15 * 35,5}} = 0,37 \text{ (cm)} \approx 0,4 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče su: 250 x 150 x 10 (mm)

6.6. Spoj krovne podrožnice na gornji pojas



Slika 6.7 Detalj spoja krovne podrožnice na gornji pojas

Spoj podrožnice na gornji pojas izvest će se zavarivanjem pravokutne ploče na gornji pojas nosača dimenzija 73x200x10 mm.

DJELOVANJA:	
$V_{ED,Y}$	5,92 (kN)
$V_{ED,Z}$	5,68 (kN)

PODACI O POPREČNOM PRESJEKU SHS 90/90/12			
b(cm)	9	t(cm)	1,2
h (cm)	9		
PODATCI O PROFILU IPE 140			
h (cm)	14	t_F (cm)	0,7
b (cm)	7,3	t_w (cm)	0,5
PODATCI O VIJCIMA			
φ (mm)	φ 12	$f_{y,B}$ (N/mm ²)	300
K.V.	5.6	$f_{u,B}$ (N/mm ²)	500

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

$$a_{\max} = 0,7 * t_{\min} = 0,7 * 12 = 8,4 \text{ (mm)}$$

Odabrano $a=4$ (mm)

Otpornost vara:

$$L_w = 0 = 2 \cdot 90 = 180 \text{ (mm)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{180}{100} = 188,5 \text{ (kN)} > V_{z,Ed} = 5,68 \text{ (kN)}$$

Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25,3}{1,25} = 20,24 \text{ (kN)} > F_{v,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{5,92}{4} = 2,96 \text{ (kN)}$$

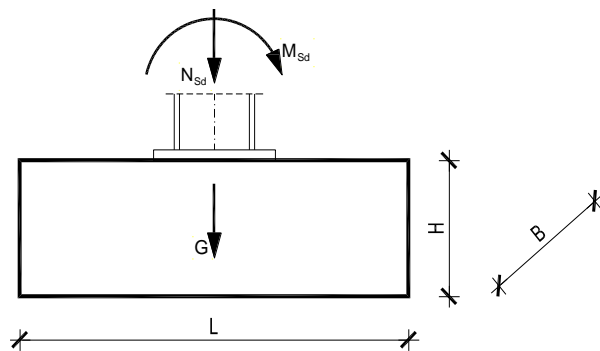
Otpornost vijaka na pritisak po omotaču rupe:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{117,7}{1,25} \cdot \frac{10}{10} = 94,16 \text{ (kN)} > F_{v,Ed} = 2,96 \text{ (kN)}$$

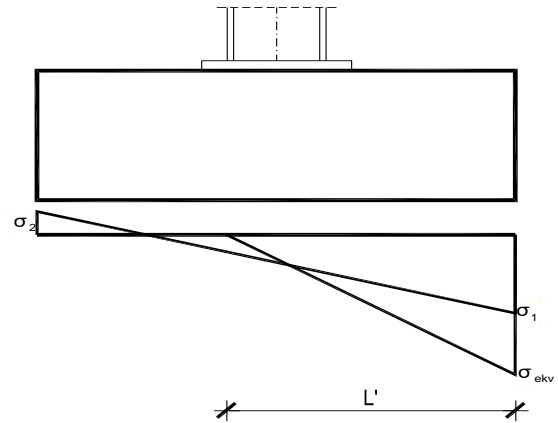
Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,9}{1,25} = 30,32 \text{ (kN)} > F_{t,Ed} = \frac{V_{y,Ed}}{4} = 1,48 \text{ (kN)}$$

7. DIMENZIONIRANJE TEMELJA



Slika 7.1. Prikaz temelja



Slika 7.2. Prikaz naprezanja ispod temeljne stope

Odabrane dimenzije temelja:

$$L = 2,0 \text{ (m)}$$

$$B = 2,0 \text{ (m)}$$

$$H = 1,0 \text{ (m)}$$

Materijal:

Temeljno tlo: $\sigma_{tlo} = 250 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

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

$$f_{ctm} = 0,26 \text{ (kN/cm}^2\text{)}$$

Čelik B500B $f_{yk} = 50 \text{ (kN/cm}^3\text{)}$

Djelovanja:

$$N_{Ed} = 63,65 \text{ (tlak) (kN)}$$

$$V_{Ed} = 9,93 \text{ (kN)}$$

$$M_{Ed} = 28,43 \text{ (kNm)}$$

Proračun temeljne stope:

Površina temeljne stope:

$$A = B * L = 2,0 * 2,0 = 4,0 \text{ (m}^2\text{)}$$

Težina temeljne stope:

$$G = L * B * H * \gamma_b = 2,0 * 2,0 * 1,0 * 25 = 100 \text{ (kN)}$$

Moment otpora temeljne stope:

$$W = \frac{B * L^2}{6} = \frac{2 * 2^2}{6} = 1,33 \text{ (m}^2\text{)}$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{63,65 + 100}{4} \pm \frac{28,48}{1,33}$$

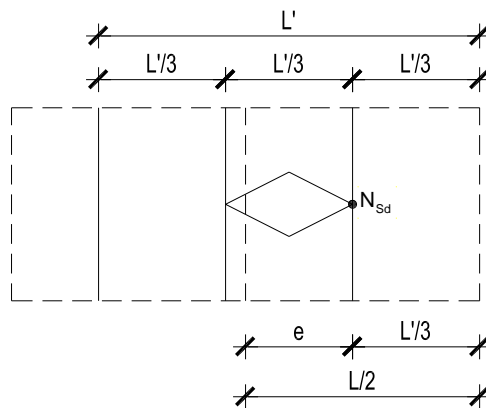
$$\sigma_1 = 62,29 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_2 = 19,54 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{28,43}{63,65 + 100} = 0,17 \text{ (m)}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 * \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 * \left(\frac{2}{2} - 0,17 \right) = 2,49 \text{ (m)}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (63,65 + 100)}{2,49 \cdot 2,0} = 65,72 \text{ (kN/m}^2\text{)} < \sigma_{tla,lim} = 250 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



Slika 7.3. Prikaz ekscentriciteta

Proračun armature temelja:

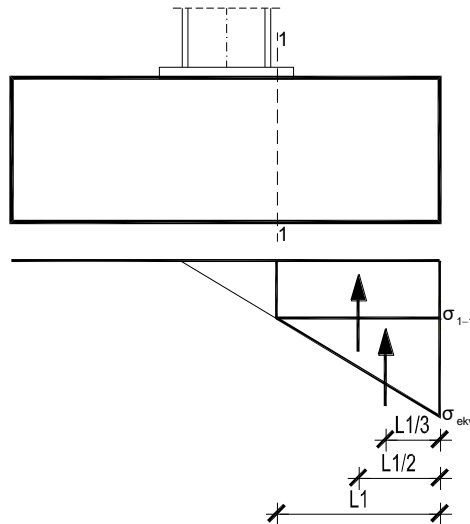
$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2 - 0,114}{2} = 0,942 \text{ (m)}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'}$$

$$\sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2,49 - 0,942}{2,49} \cdot 65,72 = 40,85 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1,4 \cdot \left(40,85 \cdot \frac{0,942^2}{2} \cdot 2 + \frac{65,72 - 40,85}{2} \cdot 0,942 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,942 \right) = 71,35 \text{ (kNm)}$$



Slika 7.4. Djelovanje sile na temeljnu stopu

Krak unutarnjih sila u betonu:

$$z \approx 0,8H = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ (m)} = 80 \text{ (cm)}$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{7135}{80 \cdot \frac{50}{1,15}} = 2,05 \text{ (cm}^2\text{)} < A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot B \cdot H$$

$$= 0,26 \cdot \frac{0,26}{50} \cdot 200 \cdot 200 = 54,08 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura

Odabrano: glavna armatura → 22ø18 = 55,88 (cm²)

razdjelna armatura → ø8/25

8. NACRTI

9. LITERATURA

- [1] Prof.dr.sc. Ivica Boko: Predavanja

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

- [3] Materijali sa vježbi: Osnove metalnih konstrukcija, katedra za metalne i drvene konstrukcije

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

- [5] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu