

Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Rako, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:123:998334>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-04**



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

Marin Rako

Split, 2018.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Marin Rako

Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Završni rad

Split, 2018.



SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Matice hrvatske 15

21000 Split

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI STRUČNI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

SMJER: KONSTRUKCIJE

KANDIDAT: Marin Rako

BROJ INDEKSA: 1674

KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstrukcije

PREDMET: Metalne konstrukcije

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Opis zadatka: Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije. Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- plan kontrole i osiguranja kvalitete
- proračune
- građevinske nacрте

U Splitu, rujan 2018.

Voditelj diplomskog rada:

Prof. dr. sc. Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije višenamjenske hale

Sažetak:

Tema završnog rada je proračun čelične konstrukcije proizvodne hale koja je smještena u Splitu. Potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju - rešetku i stupove, sekundarnu nosivu konstrukciju - krovne i bočne sekundarne nosače te spregove, spojeve i temelje. Svi proračuni izvode se prema normama Eurocode-a.

Projekt sadrži: tehnički opis konstrukcije, opće i posebne tehničke uvjete, plan kontrole i osiguranja kvalitete, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata i karakteristične građevinske nacрте.

Ključne riječi:

čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, greda, stup, dimenzioniranje, spojevi.

Design of a steel multifunctionality hall

Abstract:

Subject of this work is design of a steel manufacturing hall placed in Split. It is necessary to dimension the main supporting structure – grid and piers, secondary supporting structure – roof and lateral secondary girders, and bracings, joints and foundations. All calculations were done according to Eurocode norms.

The work includes technical description of the structure, general and particular conditions of civil engineering works, control plan and quality assurance plan, calculation of the main structural elements as well as characteristic structural plans.

Keywords:

steel, hall, supporting structure, bracings, beam, column, design, joints residential building, main design, monolithic construction

Sadržaj:

1	TEHNIČKI OPIS	9
1.1	OPIS KONSTRUKCIJE.....	9
1.1.1	Općenito.....	9
1.1.2	Konstruktivni elementi	11
1.1.3	Spojevi	12
1.2	O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE	13
1.3	MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE	13
1.4	PRIMIJENJENI PROPISI	14
1.5	ANTI-KOROZIJSKA ZAŠTITA	14
1.6	ZAŠTITA OD POŽARA.....	14
2	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	15
2.1	GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR)	15
2.1.1	Stalno opterećenje	15
2.1.2	Pokretno opterećenje	16
2.1.2.1	Djelovanje snijega.....	16
2.1.2.2	Djelovanje vjetra	19
2.1.2.2.1	Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove.....	23
2.1.2.2.2	Određivanje pritiska na halu za područja ravnog krova	24
2.1.2.2.3	Koeficijent unutarnjeg pritiska.....	25
2.1.2.2.4	Pritisak vjetra na vanjske i unutarnje površine	26
2.2	PRIKAZ OPTEREĆENJA.....	29
2.2.1	Vlastita težina	29
2.2.2	Dodatno stalno opterećenje.....	29
2.2.3	Opterećenje snijegom.....	30
2.2.4	Opterećenje vjetrom W_1	31
2.2.5	Opterećenje vjetrom W_2	32
2.2.6	Opterećenje vjetrom W_3	33
2.2.7	Opterećenje vjetrom W_4	35
3	GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (GSU)	36
3.1.1	Glavni rešetkasti nosač okvirnog sustava.....	40
3.1.2	Stup okvira	40
4	STATIČKI PRORAČUN	41
4.1	PRIKAZ REZNIH SILA GLAVNE NOSIVE KONSTRUKCIJE (OKVIR)	41

4.1.1	Vlastita težina	41
4.1.2	Dodatno stalno opterećenje.....	42
4.1.3	Snijeg	43
4.1.4	Vjetar W_{1x}	44
4.1.5	Vjetar W_{2x}	45
4.1.6	Vjetar W_{3y}	46
4.1.7	Vjetar W_{4y}	47
4.2	PRIKAZ REZNIH SILA KOMBINACIJA (GSN).....	48
5	DIMENZIONIRANJE GLAVNE KONSTRUKCIJE.....	51
5.1	STUP GLAVNOG OKVIRA.....	51
5.1.1	Klasifikacija poprečnog presjeka	51
5.1.2	Otpornost poprečnog presjeka	54
5.2	REŠETKA GLAVNOG OKVIRA	61
5.2.1	Donja pojasnica i rubne vertikale.....	61
5.2.1.1	Klasifikacija poprečnog presjeka.....	63
5.2.1.2	Otpornost poprečnog presjeka.....	65
5.2.2	Gornja pojasnica	70
5.2.2.1	Klasifikacija poprečnog presjeka.....	72
5.2.2.2	Otpornost poprečnog presjeka.....	74
5.2.3	Unutarnje vertikale i dijagonale	82
5.2.3.1	Klasifikacija poprečnog presjeka.....	84
5.2.3.2	Otpornost poprečnog presjeka.....	86
6	DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE.....	89
6.1	KROVNE PODROŽNICE	89
6.1.1	Prikaz opterećenja.....	92
6.1.1.1	Vlastita težina	92
6.1.1.2	Dodatno stalno opterećenje	92
6.1.1.3	Opterećenje snijegom	93
6.1.1.4	Opterećenje vjetrom W_4	94
6.1.2	Prikaz reznih sila.....	95
6.1.2.1	Vlastita težina	95
6.1.2.2	Dodatno stalno opterećenje	96
6.1.2.3	Opterećenje snijegom	98
6.1.2.4	Opterećenje vjetrom W_4	100
6.1.3	Prikaz reznih sila kombinacija (GSN).....	101

6.1.4	Dimenzioniranje krovne podrožnice	103
6.1.4.1	Klasifikacija poprečnog presjeka.....	103
6.1.4.2	Otpornost poprečnog presjeka.....	106
6.2	BOČNE PODROŽNICE.....	118
6.2.1	Prikaz opterećenja.....	119
6.2.1.1	Vlastita težina	119
6.2.1.2	Opterećenje vjetrom W_2	119
6.2.2	Prikaz reznih sila.....	120
6.2.2.1	Vlastita težina	120
6.2.2.2	Opterećenje vjetrom W_2	121
6.2.3	Prikaz reznih sila kombinacija (GSN).....	122
6.2.4	Dimenzioniranje bočne podrožnice	124
6.2.4.1	Klasifikacija poprečnog presjeka.....	124
6.2.4.2	Otpornost poprečnog presjeka.....	127
7	DIMENZIONIRANJE SPREGOVA KONSTRUKCIJE.....	134
7.1	KROVNI SPREGOVI.....	134
7.1.1	Prikaz reznih sila krovnih spregova	136
7.1.2	Dimenzioniranje krovnih spregova	137
7.2	BOČNI SPREGOVI.....	138
7.2.1	Prikaz reznih sila.....	139
7.2.2	Dimenzioniranje krovnih spregova	140
8	PRORAČUN SPOJEVA.....	141
8.1	DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP - TEMELJ	141
8.1.1	Raspodjela sila po presjeku	142
8.1.2	Kontrola varova	142
8.1.3	Proračun vijaka.....	143
8.1.4	Proračun ploče.....	143
8.1.5	Proračun debljine ploče	144
8.2	DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP - REŠETKA	145
8.2.1	Raspodjela sila po presjeku	146
8.2.2	Kontrola varova	146
8.2.3	Proračun vijaka.....	147
8.2.4	Proračun ploče.....	147
8.2.5	Proračun debljine ploče	148
8.3	DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA REŠETKE.....	149

8.3.1	Kontrola varova	150
8.3.2	Proračun vijaka.....	150
8.3.3	Proračun ploče.....	150
8.3.4	Proračun minimalne debljine ploče	151
9	GRAFIČKI PRILOZI	152
9.1	GENERALNI PLAN POZICIJA MJ. 1:200.....	152
9.2	POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA MJ. 1:200.....	152
9.3	DETALJ SPOJA A - STUP - TEMELJ MJ. 1:10.....	152
9.4	DETALJ SPOJA B - STUP - REŠETKA MJ. 1:10	152
9.5	DETALJ SPOJA C - VLAČNI NASTAVAK MJ. 1:10.....	152
9.6	RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA MJ. 1:50	152
10	LITERATURA	153

1 TEHNIČKI OPIS

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

1.1.1 Općenito

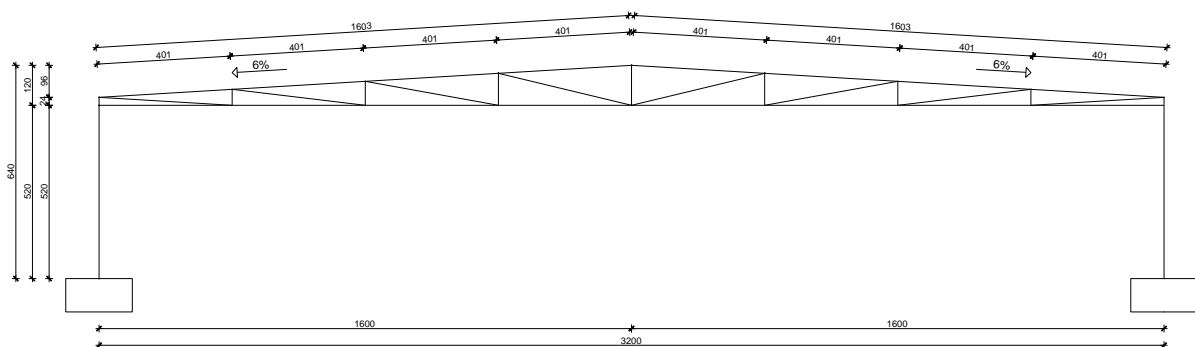
Sljedeći su parametri konstrukcije:

- Način izvedbe: montažno
- Materijal izrade: S355
- Lokacija objekta: Split
- Razmak okvira: $n = 6,20 \text{ m}$
- Širina objekta: $L = 32 \text{ m}$
- Visina do sljemena: $H = 6,40 \text{ m}$
- Nagib krovne plohe: $i = 6\%$

Predmetna građevina nalazi se na području grada Splita.

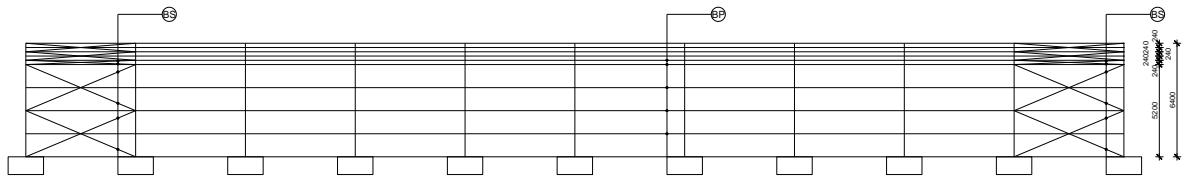
Tlocrtna dimenzija su $32,0 \times 74,4 \text{ (m)}$, a visina do sljemena iznosi $6,40 \text{ (m)}$. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 3,43^\circ$, što je ekvivalentno padu od 6% .

Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1. Prikaz glavnog okvira sustava sa pratećim dimenzijama

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 12 ravninskih okvira raspona $32,0 \text{ (m)}$, stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od $6,2 \text{ (m)}$.



Slika 2. Bočni prikaz hale sa pratećim dimenzijama

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 4,01 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 1,30 (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 punostijeni nosači međusobno spojeni upetim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je također upetom vezom.

1.1.2 Konstruktivni elementi

Rešetka

Proračunom donje pojasnice odabran je pravokutni poprečni presjek CFRHS profil 300x300x8 (mm). Za gornju pojasnicu dobiven je profil CFRHS 300x300x12,5 (mm).

Rubne vertikale, koje spajaju gornju i donju pojasnicu, profila su CFRHS profil 300x300x8 (mm).

Ispune između gornje i donje pojasnice, vertikale i dijagonale, pravokutnog su poprečnog presjeka CFRHS profil 120x120x8 (mm).

Zbog maksimalne proizvodne dužine od 12,0 (m), donji pojas se sastoji iz četiri dijela, dužine 5000 (mm), 10750 (mm), 11250 (mm) i 5000 (mm). Gornji pojas također je izrađen iz dva dijela, duljina 12000 (mm) i 4029 (mm).

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi europskih širokopojasnih H profila HEA 340 ukupne dužine 5200 (mm).

Podrožnice

Proračunom su dobivene krovne podrožnice IPE 360.

Spregovi

Za dijagonale krovnog sprega odabrani su čelični okrugli poprečni presjeci Ø16.

Za dijagonale bočnog sprega odabrani su čelični okrugli poprečni presjeci Ø16.

Temelji

Odabrani temelji dimenzija 4,0 x 2,0 x 1,0 (m).

1.1.3 Spojevi

Stup – gređa

Spoj donje pojasnice gređe na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 690/1140/40 (mm) i vijcima M36 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez, a hrbat stupa od lokalnog otkazivanja osigurava ukruta dimenzija 690/1140/40 (mm).

Stup – temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 610/640/40 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M27 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

Vlačni nastavak gređe

Spoj se izvodi vijčano pomoću vezica. Pojasnice se spajaju parom ploča dimenzija 530/530/20 i pločom 530/530/20 koje međusobno povezuju vijci M30 k.v. 8.8 nosivi na odrez. Nastavak hrpta izvodi se pločama dimenzija 530/530/20 i vijcima M30 k.v. 8.8 nosivim na 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.

Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom Scia Engineer pomoću kojeg je dobiveno granično stanje uporabljivosti i granično stanje nosivosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 5 polja.

Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika Fe-510 (S 3555) izuzev čeone ploče stupa na spoju s temeljem i čeone ploče na spoju greda u sljemenu koje su izrađene od čelika Fe-510 (S 355).

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C20/25, s betonskim čelikom B500B kao armaturom.

Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

1.4 PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja:

HRN ENV 1991-2-1	vlastita težina građevine
HRN ENV 1991-2-3	djelovanje snijega na konstrukciju
HRN ENV 1991-2-4	djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje:

HRN ENV 1993	dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
HRN ENV 1992	dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija

1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama "Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcije od korozije".

Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 µm.

1.6 ZAŠTITA OD POŽARA

U svrhu odugovlačenja 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.

2 ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

2.1.1 Stalno opterećenje

- sendvič paneli (aluminij)	0,20 kN/m ²
- sekundarna konstrukcija i spregovi	0,20 kN/m ²
- instalacije	0,10 kN/m ²
Σ =	<hr/> 0,50 kN/m ²

Vlastita težina automatski je uključena u računalni program.

$$G_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,20 \text{ m} = 3,10 \text{ kN/m'}$$

Na rubnim (krajnjim) glavnim nosačima:

$$G_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot (6,20/2) \text{ m} = 1,55 \text{ kN/m'}$$

2.1.2 Pokretno opterećenje

2.1.2.1 Djelovanje snijega

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

$s_k \rightarrow$ karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m^2

$s_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 \leftrightarrow$ za Split, od 0 - 100 m nadmorske visine



Slika 3. Karta snijega Republike Hrvatske

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

Slika 4. Karakteristične vrijednosti opterećenja snijegom za pojedina područja i nadmorske visine

Nagib krova :

$\mu_i \rightarrow$ koeficijent oblika za opterećenje snijegom , očitamo ga ovisno o α ,
 α je nagib krova

Kut nagiba krova α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha / 30$	1,6	-

Slika 5. Koeficijenti oblika opterećenja snijegom

$$\operatorname{tg} \alpha = 6/100 = 0,06 \rightarrow \alpha = 3,43^\circ$$

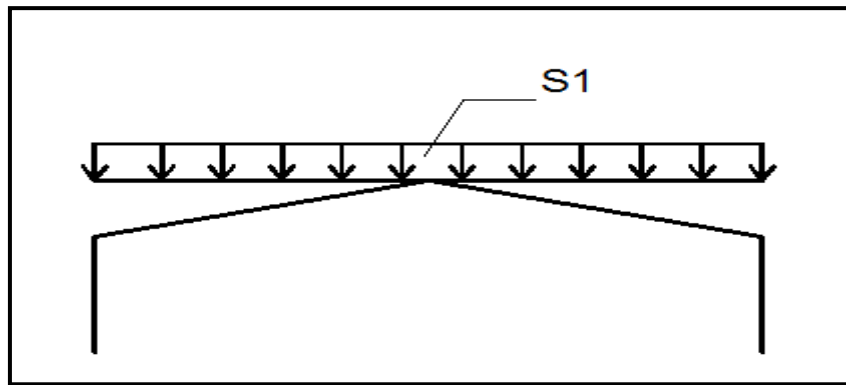
$$\mu_i = 0,8 \leftrightarrow \text{za nagib krova } 0^\circ < \alpha < 15^\circ \rightarrow \alpha_1 = \alpha_2$$

$c_e \rightarrow$ koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

$c_t \rightarrow$ toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,50 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$



Slika 6. Slučaj opterećenja snijegom za promatranu konstrukciju

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S_1 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,20 \text{ m} = 2,48 \text{ kN/m'}$$

Na rubnim (krajnjim) glavnim nosačima:

$$S_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot (6,20/2) \text{ m} = 1,24 \text{ kN/m'}$$

2.1.2.2 Djelovanje vjetra

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad [\text{kN/m}^2] \quad \rightarrow \text{pritisak vjetra na vanjske površine}$$

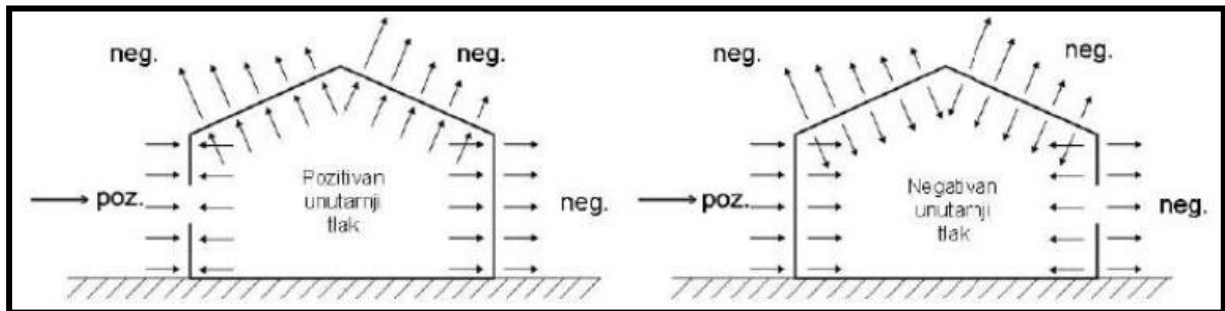
$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad [\text{kN/m}^2] \quad \rightarrow \text{pritisak vjetra na unutarnje površine}$$

$q_p(z_e)$ → pritisak brzine vjetra pri udaru

z_e → referentna visina za vanjski (unutarnji) pritisak

c_{pe} → vanjski koeficijent pritiska

c_{pi} → unutarnji koeficijent pritiska



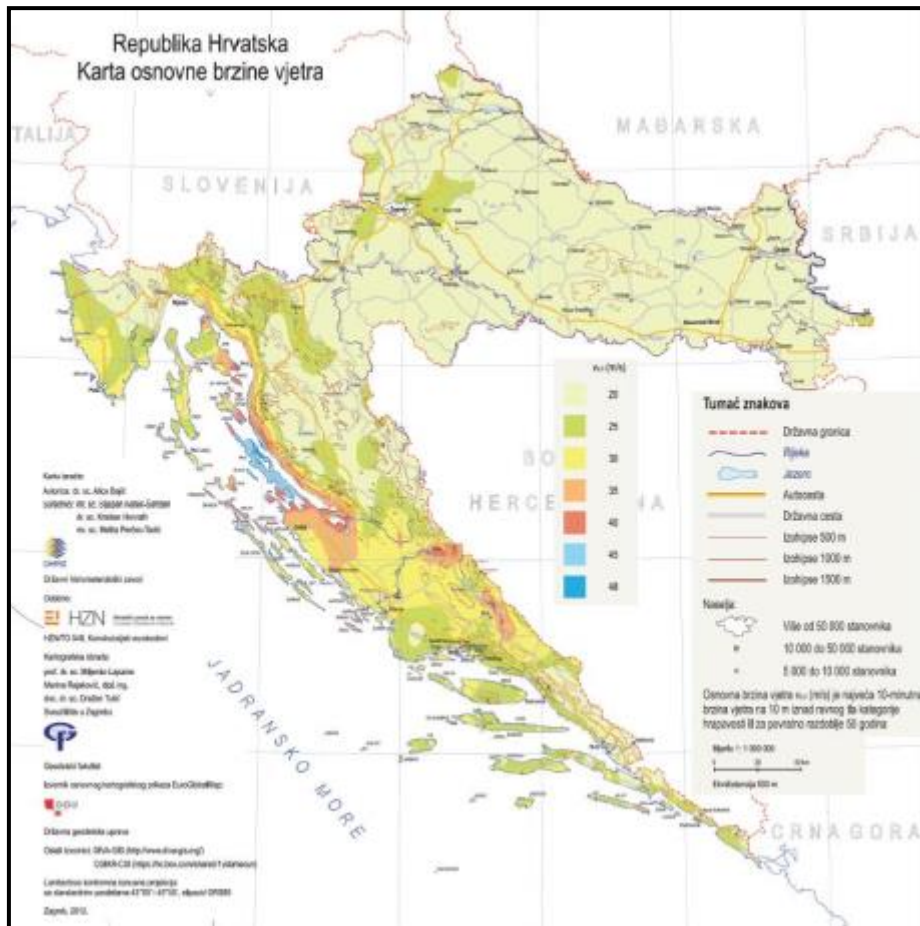
Slika 7. Pozitivni i negativni koeficijenti pritiska vjetra

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\text{kN/m}^2)$$

ρ → gustoća zraka (usvaja se $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

v_b → osnovna brzina vjetra



Slika 8. Karta osnovnih brzina vjetra Republike Hrvatske

$$v_b = c_{\text{season}} \cdot c_{\text{dir}} \cdot v_{b,0} \quad (\text{m/s})$$

$v_{b,0}$ → fundamentalna vrijednost brzine vjetra

Očitano s karte:

$v_{b0} = 30 \text{ m/s}$ za područje Splita, do 100 m nadmorske visine

c_{dir} → faktor smjera vjetra (uzima se 1,0)

c_{season} → faktor doba godine (uzima se 1,0)

$$v_b = 30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 30,0 \text{ (m/s)}$$

$v_m(z)$ → srednja brzina vjetra

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (\text{m/s})$$

$c_r(z)$ → faktor hrapavosti

$c_0(z)$ → faktor orografije ili opisivanje brežuljaka ili gora (obično se uzima 1,0)

Faktor hrapavosti $c_r(z)$ određuje se prema izrazima:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{za } z_{\min} < z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za } z \leq z_{\min}$$

gdje su:

z_0 - duljina hrapavosti

$k_r(z)$ - faktor terena ovisan o duljini hrapavosti

z_{\min} - minimalna duljina hrapavosti

z_{\max} - maksimalna duljina hrapavosti (usvaja se vrijednost 200 m)

Faktor terena $k_r(z)$ određuje se prema izrazu:

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$$

$z_{0,II}$ - duljina hrapavosti za kategoriju terena II (prema tablici iznosi 0,05 m)

Vrijednosti z_0 i z_{\min} za pojedinu kategoriju terena očitavaju se iz sljedeće tablice:

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

Slika 9. Vrijednosti z_0 i z_{\min} za različite kategorije terena

Za kategoriju terena III:

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 5 \text{ m}$$

Visina objekta: $z = 6,40 \text{ m}$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{za } z_{\min} < z \leq z_{\max}$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,30/0,05)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,215 \cdot \ln(6,40/0,3) = 0,658$$

$$v_m(z) = 0,658 \cdot 1,0 \cdot 30 = 19,74 \text{ (m/s)}$$

Intenzitet turbulencije $I_v(z)$ računa se prema izrazu:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)}, \text{ gdje je}$$

k_1 - faktor turbulencije (obično se uzima vrijednost 1,0, ukoliko nije drugačije definirano Nacionalnim dodatkom)

$$I_v(6,40) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(6,40/0,3)} = 0,327$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 562,50 \text{ (N/m}^2\text{)} = 0,563 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

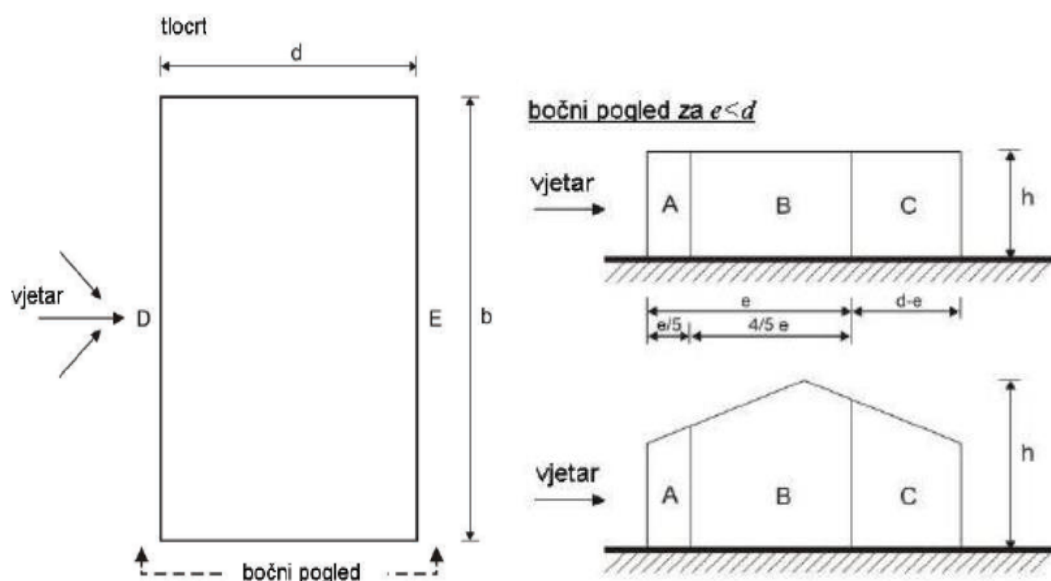
Pritisak brzine vjetra pri udaru $q_p(z)$ računa se prema izrazu:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1 + 7 \cdot I_v(z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z), \text{ gdje je}$$

$c_e(z)$ - faktor izloženosti i odnosi se na pritisak te ovisi o visini iznad terena z i kategoriji terena

$$q_p(z) = 1 + 7 \cdot 0,563 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,74^2 = 960,80 \text{ (N/m}^2\text{)} = 0,961 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

2.1.2.2.1 Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove



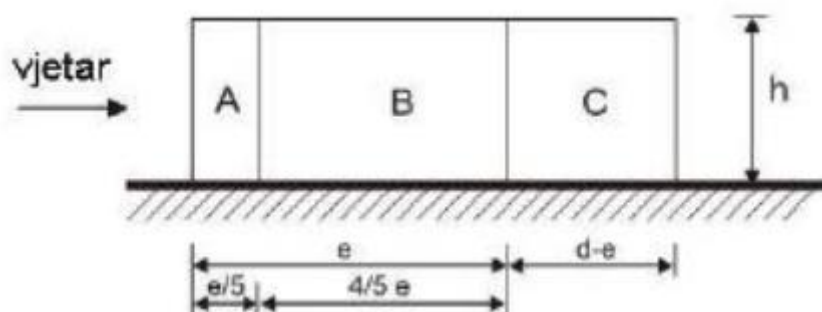
Slika 10. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

- Koeficijenti vanjskog pritiska c_{pe} na halu za vertikalne zidove $h/d = 6,40/32,0 = 0,20$
 $e = \min\{b; 2h\}$

b - dimenzija okomito na vjetar

$$e = 2 \cdot h = 2 \cdot 6,40 = 12,80 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 12,80 \text{ m} < 32,0 \text{ m}$$



Slika 11. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove - bočni pogled

Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} za građevine i dijelove građevine ovise o veličini opterećene plohe. Promatrana opterećena ploha na industrijskoj hali veća je od 10 m^2 .

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

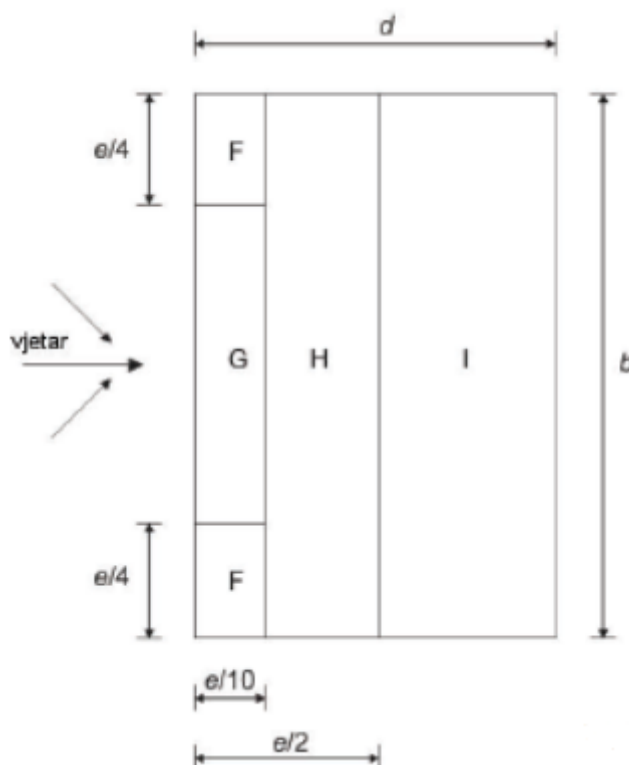
Slika 12. Vrijednosti koeficijenta vanjskog pritiska za vertikalne zidove

$$h/d = 6,40/32,0 = 0,20$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

2.1.2.2.2 Određivanje pritiska na halu za područja ravnog krova

Krov s vrijednosti nagiba $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ se klasificira kao ravni krov. Ravni krov industrijske hale izveden je sa oštrim zabatima.



Slika 13. Prikaz područja vjetra za ravni krov

Vrsta krova	Područje							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Oštri zabati	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2

Slika 14. Vrijednosti koeficijenta vanjskog pritiska za područja dvostrešnog ravnog krova s oštrim zabatima

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	$\pm 0,2$

2.1.2.2.3 Koeficijent unutarnjeg pritiska

Određivanje koeficijenta unutarnjeg pritiska c_{pi}

Mora se uzeti u obzir da unutarnji i vanjski tlakovi djeluju u isto vrijeme. Najgora kombinacija vanjskih i unutarnjih tlakova mora se razmotriti za svaku kombinaciju mogućih otvora i ostalih putova istjecanja.

Vrijednost koeficijenta unutarnjeg tlaka c_{pi} , ovisi o veličini i rasporedu otvora u ovojnici zgrade.

Koeficijenti c_{pi} ovise o veličini i raspodjeli otvora na oblozi hale (fasada i krov). U ovom primjeru nije definiran raspored i veličina otvora, zato se za vrijednost c_{pi} usvajaju vrijednosti:

- Unutrašnji koeficijent pritiska → $c_{pi} = -0,3$ i $+0,2$

2.1.2.2.4 Pritisak vjetra na vanjske i unutarnje površine

- Vertikalni zidovi

Pritisak vjetra na vanjske površine

$$w_e = q_p \cdot c_{pe} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p(z) = 0,961 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,15	-0,77	-0,48	+0,67	-0,29

Pritisak vjetra na unutarnje površine

$$w_i = q_p \cdot c_{pi} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p(z) = 0,961 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,961 \cdot 0,2 = +0,1922 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,961 \cdot (-0,3) = -0,2883 \text{ kN/m}^2$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$$w_k = w_e - w_i \quad [\text{kN/m}^2]$$

Vjetar $W_1 \rightarrow$ pozitivni unutarnji pritisak ($c_{pi} = +0,2$)

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad n = 6,20 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,15	-0,77	-0,48	+0,67	-0,29
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,19	+0,19	+0,19	+0,19	+0,19
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,34	-0,96	-0,67	+0,48	-0,48
$W_k \text{ (kN/m}'\text{)}$	-8,58	-5,95	-4,15	+2,98	-2,98

Vjetar W₂ → negativni unutarnji pritisak (c_{pi} = -0,3)

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 6,20 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w _e (kN/m ²)	-1,15	-0,77	-0,48	+0,67	-0,29
w _i (kN/m ²)	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
w _k (kN/m ²)	-0,86	-0,48	-0,19	+0,96	±0,00
W _k (kN/m')	-5,33	-2,98	-1,18	+5,95	±0,00

- **Ravni krov**

Pritisak vjetra na vanjske površine

$$w_e = q_p \cdot c_{pe} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p(z) = 0,961 \text{ kN/m}^2$$

PODRUČJE	F	G	H	I
c _{pe,10}	-1,8	-1,2	-0,7	±0,2
w _e (kN/m ²)	-1,73	-1,15	-0,67	±0,19

Pritisak vjetra na unutarnje površine

$$w_i = q_p \cdot c_{pi} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p(z) = 0,961 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,961 \cdot 0,2 = +0,1922 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = 0,961 \cdot (-0,3) = -0,2883 \text{ kN/m}^2$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$$w_k = w_e - w_i \quad [\text{kN/m}^2]$$

Vjetar W₃ → pozitivni unutarnji pritisak (c_{pi} = +0,2)

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad n = 6,20 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
w _e (kN/m ²)	-1,73	-1,15	-0,67	-0,19
w _i (kN/m ²)	+0,19	+0,19	+0,19	+0,19
w _k (kN/m ²)	-1,92	-1,34	-0,86	±0,00
W _k (kN/m')	-11,90	-8,31	-5,33	±0,00

Vjetar $W_4 \rightarrow$ negativni unutarnji pritisak ($c_{pi} = -0,3$)

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 6,20 \text{ m} \rightarrow \text{razmak okvira}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m²)	-1,73	-1,15	-0,67	+0,19
w_i (kN/m²)	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
w_k (kN/m²)	-1,44	-0,86	-0,38	+0,48
W_k (kN/m')	-8,93	-5,33	-2,36	+2,98

2.2 PRIKAZ OPTEREĆENJA

2.2.1 Vlastita težina

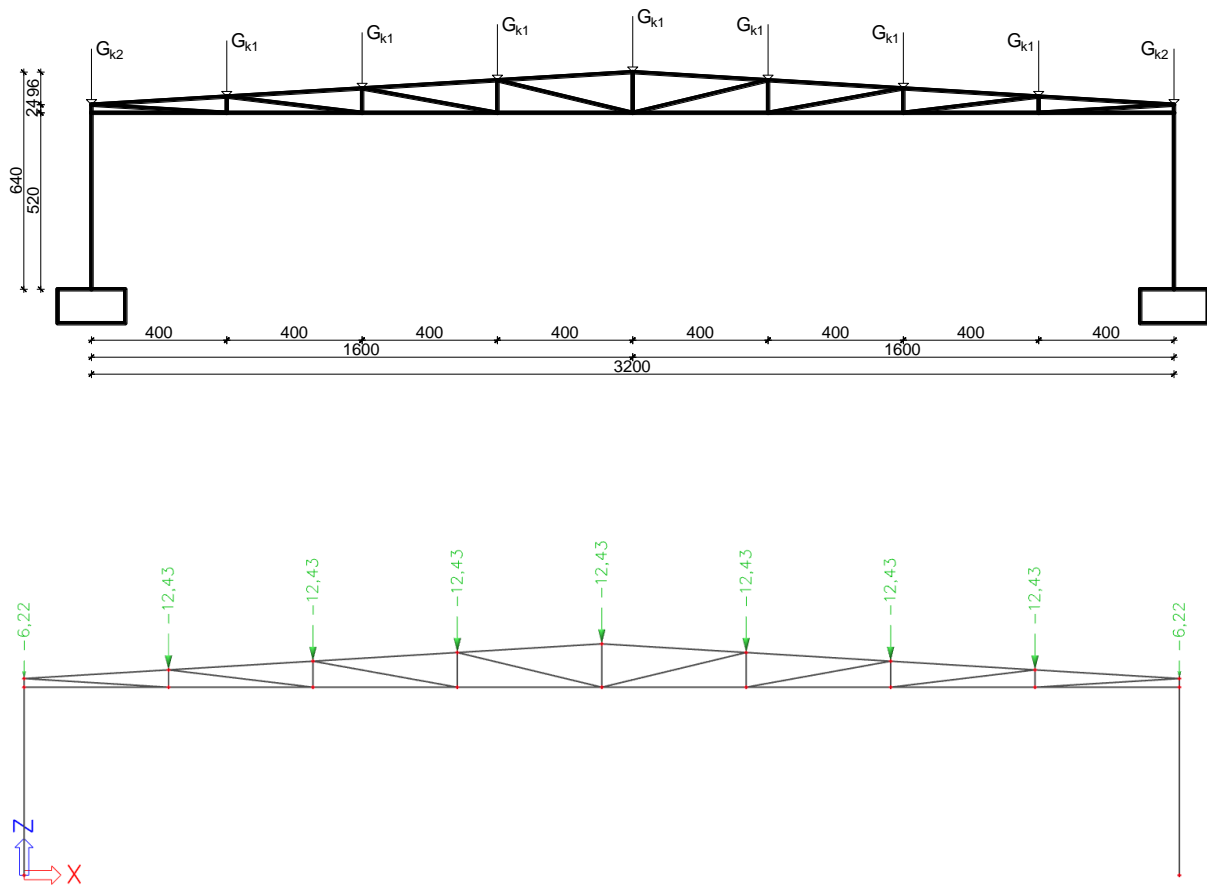
Vlastita težina automatski je uključena u računalnom programu Scia Engineer i nije je potrebno zasebno nanositi.

2.2.2 Dodatno stalno opterećenje

Za proračun uzimamo srednji nosač.

$$G_{k1} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,20 \cdot 4,01 \text{ m} = 12,43 \text{ kN}$$

$$G_{k2} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,20 \text{ m} \cdot (4,01/2) \text{ m} = 6,22 \text{ kN}$$



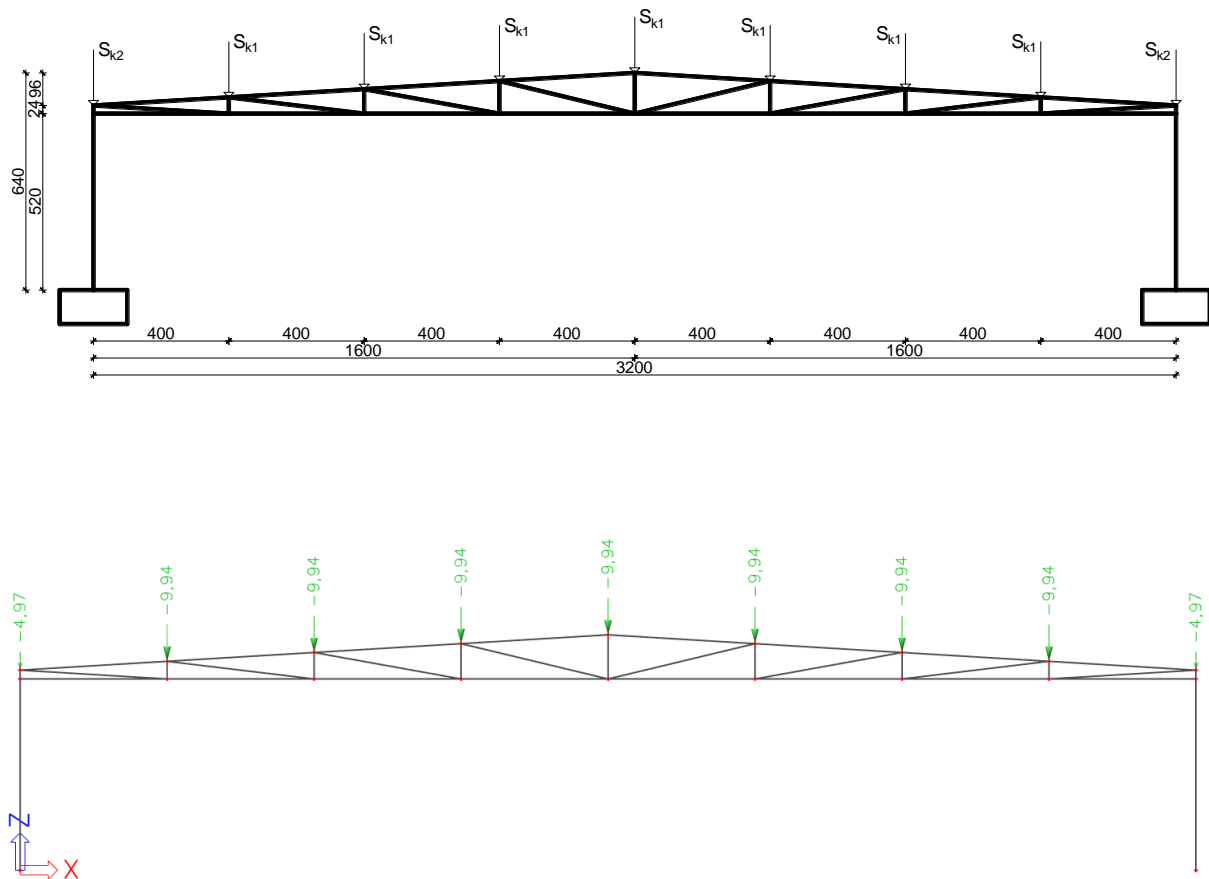
Slika 15. Raspodjela dodatnog stalnog opterećenja po čvorovima

2.2.3 Opterećenje snijegom

Za proračun uzimamo srednji nosač.

$$S_{k1} = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,20 \cdot 4,01 \text{ m} = 9,94 \text{ kN}$$

$$S_{k2} = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,20 \text{ m} \cdot (4,01/2) \text{ m} = 4,97 \text{ kN}$$



Slika 16. Raspodjela opterećenja snijegom po čvorovima

2.2.4 Opterećenje vjetrom W_1

Za proračun uzimamo srednji nosač.

$$W_D = +2,98 \text{ kN/m'}$$

$$W_E = -2,98 \text{ kN/m'}$$

$$W_{D1} = +2,98 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = +1,94 \text{ kN}$$

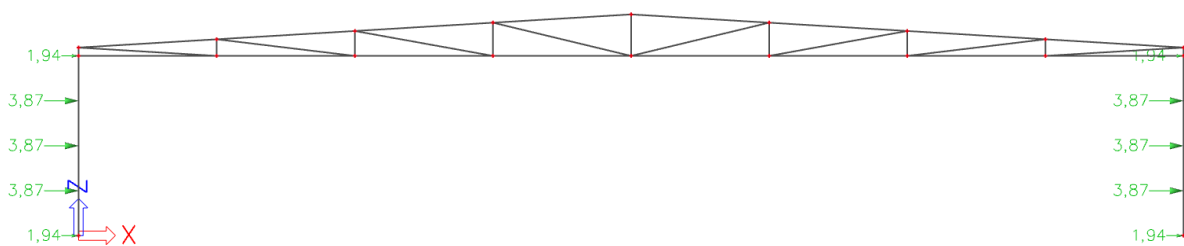
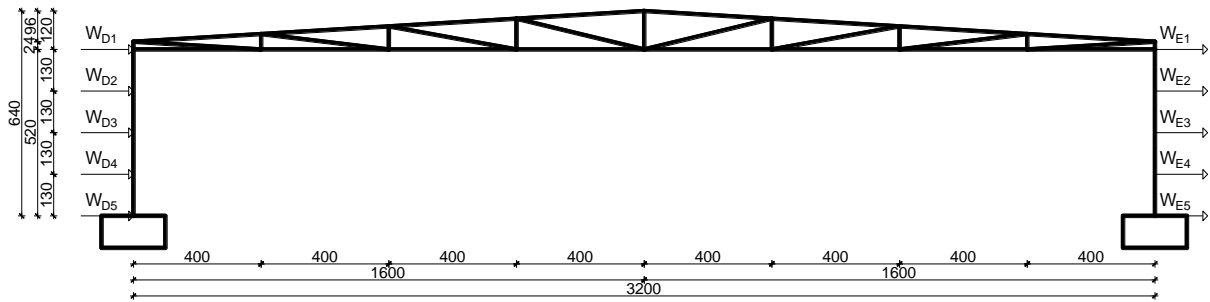
$$W_{D2-4} = +2,98 \text{ kN/m'} \cdot 1,30 \text{ m} = +3,87 \text{ kN}$$

$$W_{D5} = +2,98 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = +1,94 \text{ kN}$$

$$W_{E1} = -2,98 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = -1,94 \text{ kN}$$

$$W_{E2-4} = -2,98 \text{ kN/m'} \cdot 1,30 \text{ m} = -3,87 \text{ kN}$$

$$W_{E5} = -2,98 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = -1,94 \text{ kN}$$



Slika 17. Raspodjela opterećenja vjetrom W_1 po čvorovima

2.2.5 Opterećenje vjetrom W_2

Za proračun uzimamo srednji nosač.

$$W_D = +5,95 \text{ kN/m'}$$

$$W_E = \pm 0,00 \text{ kN/m'}$$

$$W_{D1} = +5,95 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = +3,87 \text{ kN}$$

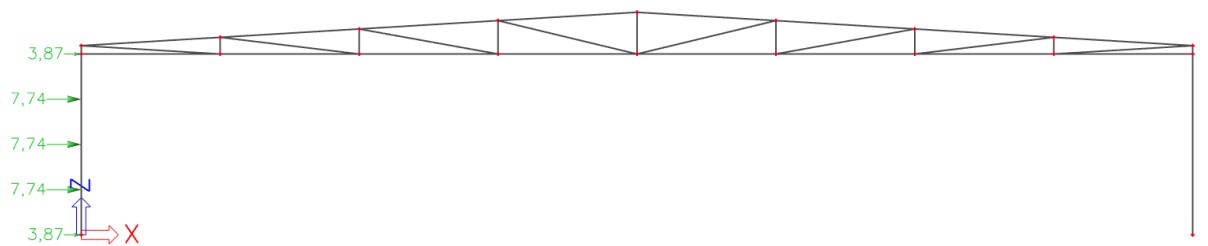
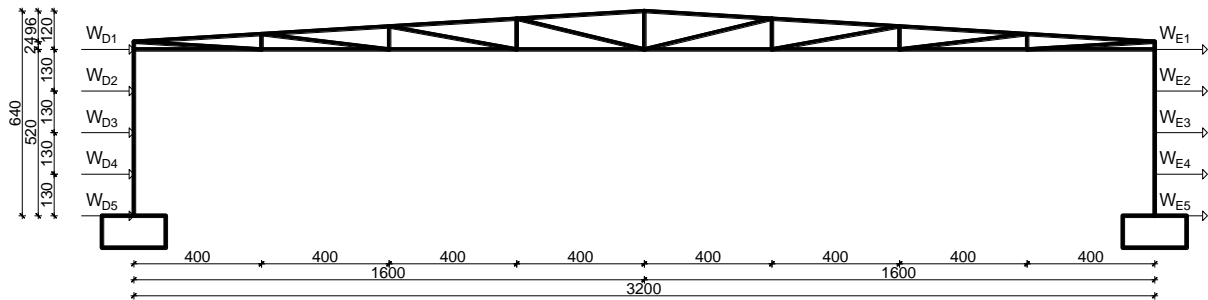
$$W_{D2-4} = +5,95 \text{ kN/m'} \cdot 1,30 \text{ m} = +7,74 \text{ kN}$$

$$W_{D5} = +5,95 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = +3,87 \text{ kN}$$

$$W_{E1} = \pm 0,00 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = \pm 0,00 \text{ kN}$$

$$W_{E2-4} = \pm 0,00 \text{ kN/m'} \cdot 1,30 \text{ m} = \pm 0,00 \text{ kN}$$

$$W_{E5} = \pm 0,00 \text{ kN/m'} \cdot (1,30/2 \text{ m}) = \pm 0,00 \text{ kN}$$



Slika 18. Raspodjela opterećenja vjetrom W_2 po čvorovima

2.2.6 Opterećenje vjetrom W_3

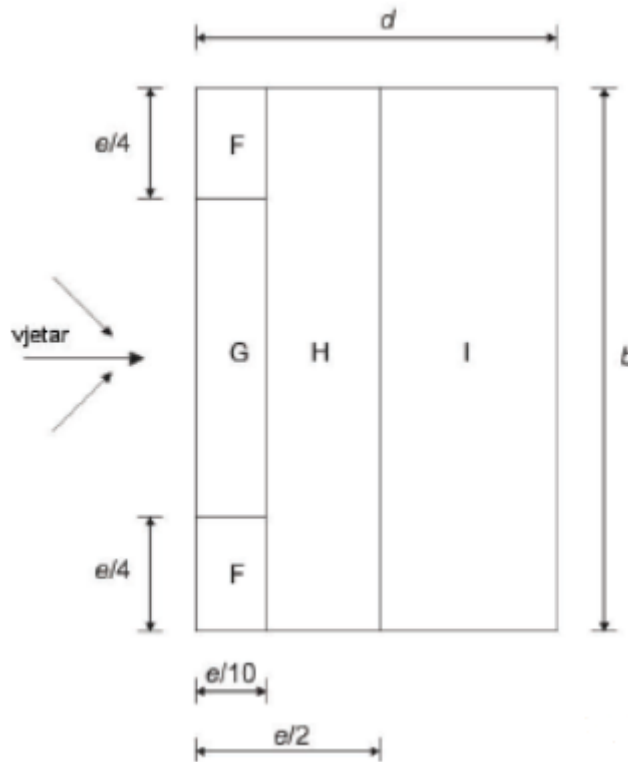
Za proračun uzimamo srednji nosač.

$$e = \min\{b; 2h\}$$

b - dimenzija okomito na vjetar

$$e = 2 \cdot h = 2 \cdot 6,40 = 12,80 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 12,80 \text{ m} < 32,0 \text{ m}$$



Slika 19. Prikaz područja djelovanja vjetra na krov

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m ²)	-1,73	-1,15	-0,67	-0,19
w_i (kN/m ²)	+0,19	+0,19	+0,19	+0,19
w_k (kN/m ²)	-1,92	-1,34	-0,86	±0,00
W_k (kN/m')	-11,90	-8,31	-5,33	±0,00

$$W_1 = -11,90 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) = -23,86 \text{ kN}$$

$$W_2 = -11,90 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) + (-5,33 \text{ kN/m}') \cdot (4,01/2 \text{ m}) = -34,55 \text{ kN}$$

$$W_3 = -5,33 \text{ kN/m}' \cdot 4,01 \text{ m} = -21,37 \text{ kN}$$

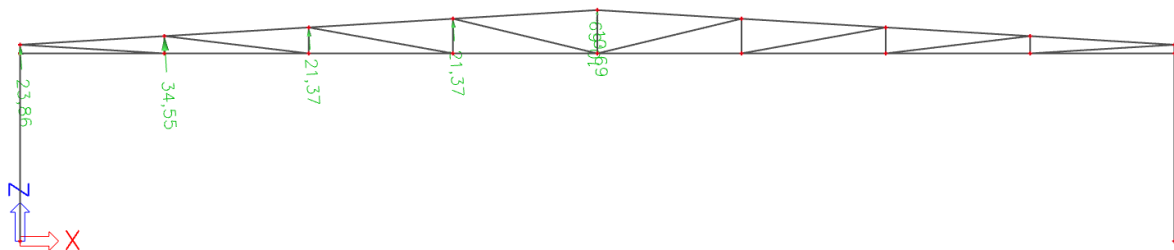
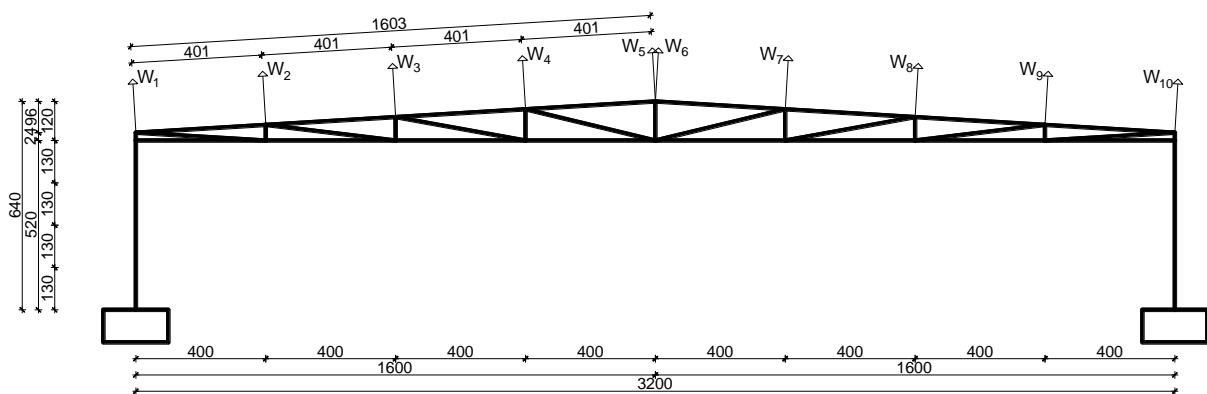
$$W_4 = -5,33 \text{ kN/m}' \cdot 4,01 \text{ m} = -21,37 \text{ kN}$$

$$W_5 = -5,33 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) + (\pm 0,00 \text{ kN/m}') \cdot (4,01/2 \text{ m}) = -10,69 \text{ kN}$$

$$W_5 = W_6 = -10,69 \text{ kN}$$

$$W_{7,9} = \pm 0,00 \text{ kN/m}' \cdot 4,01 \text{ m} = \pm 0,00 \text{ kN}$$

$$W_{10} = \pm 0,00 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) = \pm 0,00 \text{ kN}$$



Slika 20. Raspodjela opterećenja vjetrom W_3 po čvorovima

2.2.7 Opterećenje vjetrom W_4

Za proračun uzimamo srednji nosač.

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m ²)	-1,73	-1,15	-0,67	+0,19
w_i (kN/m ²)	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
w_k (kN/m ²)	-1,44	-0,86	-0,38	+0,48
W_k (kN/m')	-8,93	-5,33	-2,36	+2,98

$$W_1 = -8,93 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) = -17,90 \text{ kN}$$

$$W_2 = -8,93 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) + (-2,36 \text{ kN/m}') \cdot (4,01/2 \text{ m}) = -22,64 \text{ kN}$$

$$W_3 = -2,36 \text{ kN/m}' \cdot 4,01 \text{ m} = -9,46 \text{ kN}$$

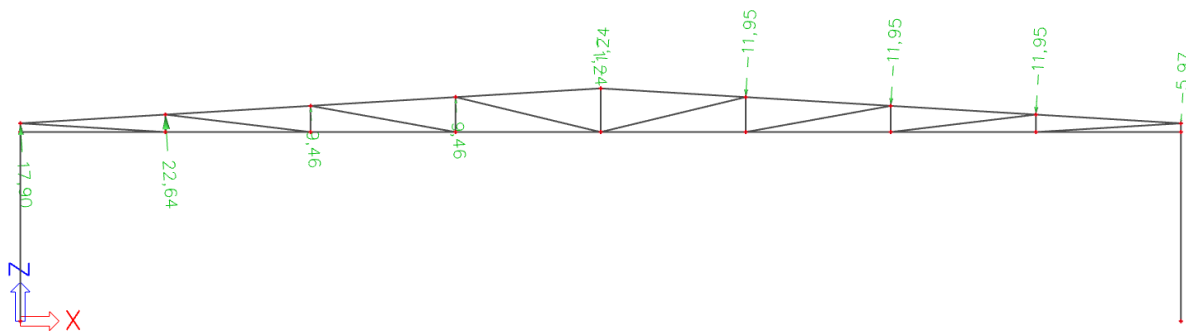
$$W_4 = -2,36 \text{ kN/m}' \cdot 4,01 \text{ m} = -9,46 \text{ kN}$$

$$W_5 = -2,36 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) + (2,98 \text{ kN/m}') \cdot (4,01/2 \text{ m}) = +1,24 \text{ kN}$$

$$W_5 = W_6 = +1,24 \text{ kN}$$

$$W_{7,9} = +2,98 \text{ kN/m}' \cdot 4,01 \text{ m} = +11,95 \text{ kN}$$

$$W_{10} = +2,98 \text{ kN/m}' \cdot (4,01/2 \text{ m}) = +5,97 \text{ kN}$$



Slika 21. Raspodjela opterećenja vjetrom W_4 po čvorovima

3 GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI (GSU)

Progibi promatranog sustava prikazani su za pojedina opterećenja. Prikazani pomaci izraženi su u milimetrima.

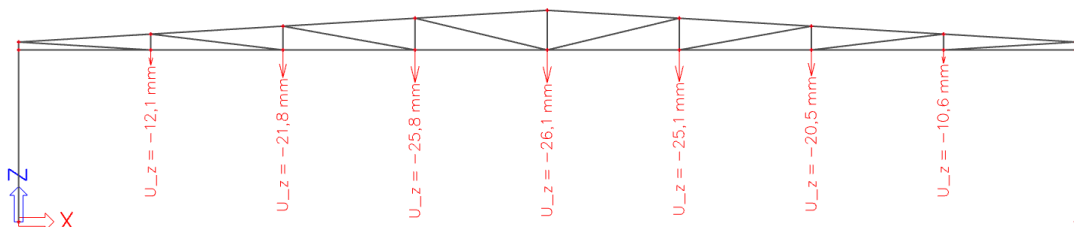
Promatrane kombinacije su:

- Glavni nosač okvirnog sustava
 - $1,0 \times (G + dG) + 1,0 \times S$
 - $1,0 \times (G + dG) + 1,0 \times W_3$
 - $1,0 \times (G + dG) + 1,0 \times W_4$
 - $1,0 \times (G + dG) + 0,90 \times 1,0 \times (S + W_4)$
- Stupovi okvirnog sustava
 - $1,0 \times (G + dG) + 1,0 \times W_1 + 1,0 \times W_4$
 - $1,0 \times (G + dG) + 1,0 \times W_1 + 1,0 \times W_3$

NAPOMENA: Kombinacija $1,0 \times (G + dG) + 0,90 \times 1,0 \times (S + W_4)$ promatrana iz razloga tlačnog djelovanja vjetra na desnoj strehi krovišta industrijske hale.

Vlastita težina G

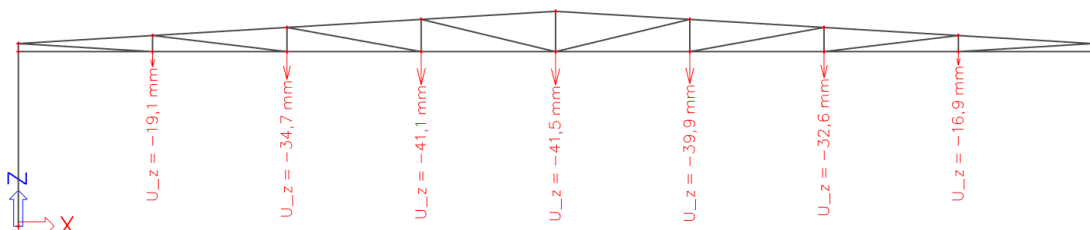
Displacement of nodes
Values: U_z
Linear calculation
Load case: Stalna Težina
Extreme: Node
Selection: N8..N14



Slika 22. Pomaci uslijed vlastite težine

Dodatno stalno opterećenje dG

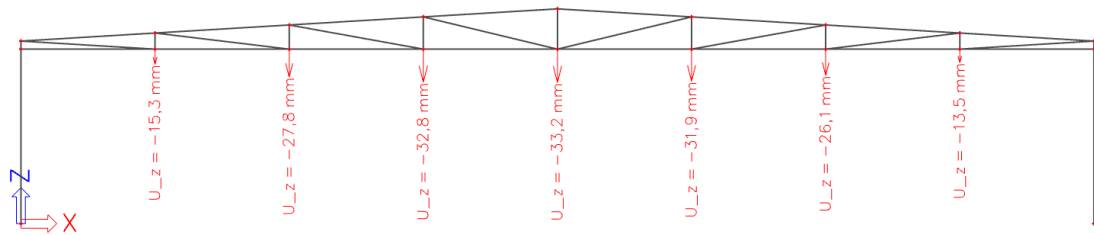
Displacement of nodes
Values: U_z
Linear calculation
Load case: Dodatno Stalno
Extreme: Node
Selection: N8..N14



Slika 23. Pomaci uslijed dodatnog stalnog opterećenja

Snijeg S

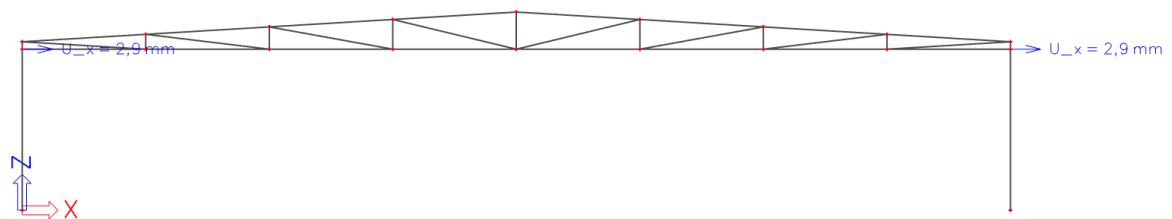
Displacement of nodes
 Values: U_z
 Linear calculation
 Load case: Snijeg
 Extreme: Node
 Selection: N8..N14



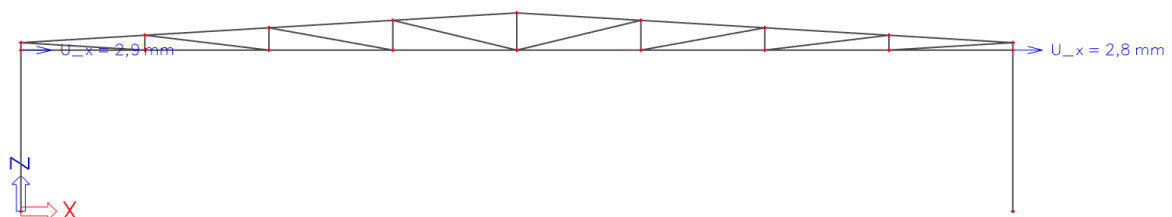
Slika 24. Pomaci uslijed snijega

Vjetar W_1

Displacement of nodes
 Values: U_x
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W1
 Extreme: Node
 Selection: N2, N4

Slika 25. Pomaci uslijed vjetra W_1 Vjetar W_2

Displacement of nodes
 Values: U_x
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W2
 Extreme: Node
 Selection: N2, N4

Slika 26. Pomaci uslijed vjetra W_2

Vjetar W₃

Displacement of nodes

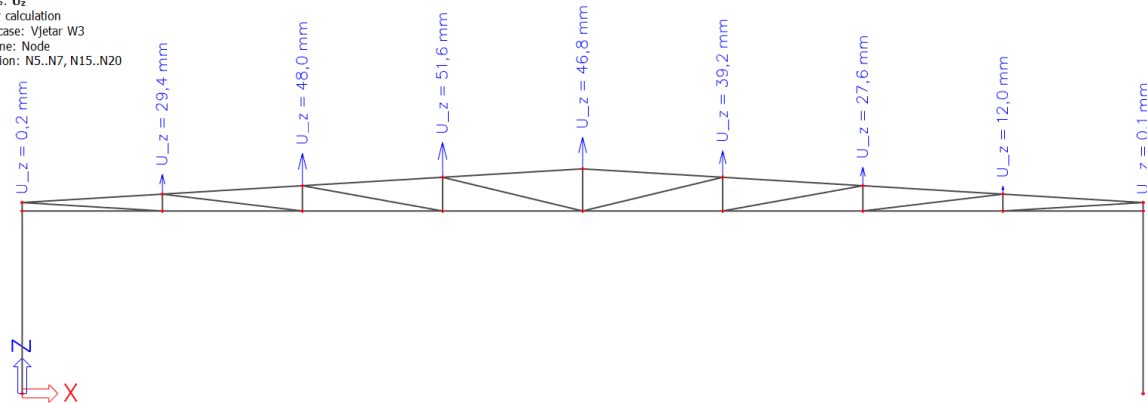
Values: U_z

Linear calculation

Load case: Vjetar W3

Extreme: Node

Selection: N5..N7, N15..N20

Slika 27. Pomaci uslijed vjetra W₃Vjetar W₄

Displacement of nodes

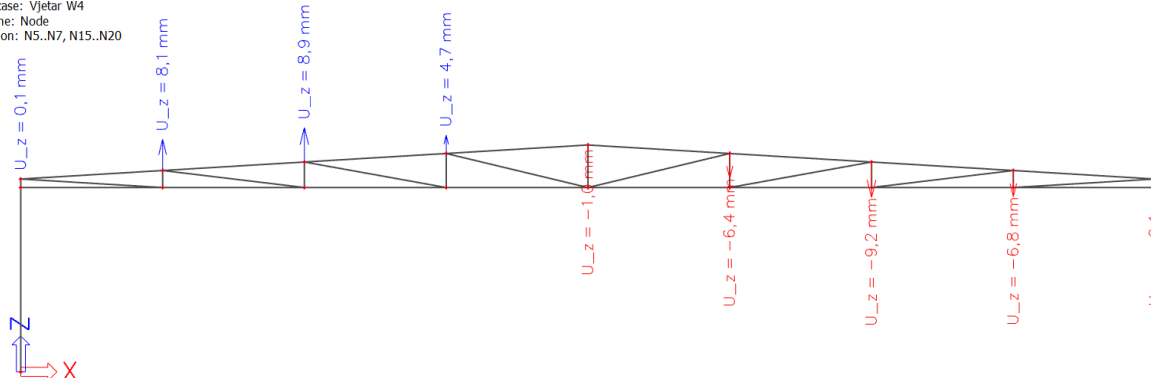
Values: U_z

Linear calculation

Load case: Vjetar W4

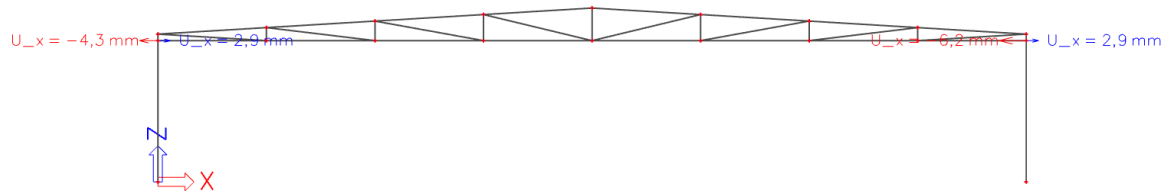
Extreme: Node

Selection: N5..N7, N15..N20

Slika 28. Pomaci uslijed vjetra W₄

Vjetar W_1 „+“ W_3

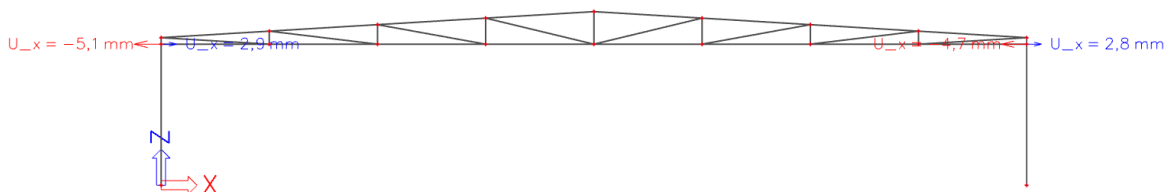
Displacement of nodes
Values: U_x
Linear calculation
Combination: W1+W3
Extreme: Node
Selection: N1..N4



Slika 29. Pomaci uslijed vjetra W_1 „+“ W_3

Vjetar W_2 „+“ W_4

Displacement of nodes
Values: U_x
Linear calculation
Combination: W2+W4
Extreme: Node
Selection: N2, N4



Slika 30. Pomaci uslijed vjetra W_2 „+“ W_4

3.1.1 Glavni rešetkasti nosač okvirnog sustava

Najveći progib glavnog nosača okvirnog sustava događa se za kombinaciju:

$$1,0 \times (G + dG) + 1,0 \times S$$

Raspon okvirnog sustava:

$$L = 32,0 \text{ m}$$

Najveći dopušteni progib:

$$v_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{3200}{300} = 10,667 \text{ cm} = 106,67 \text{ mm}$$

$$v_{\text{Ed}} = 1,0 \cdot (v_G + v_{dG}) + 1,0 \cdot v_S = 1,0 \cdot (26,1 + 41,5) + 1,0 \cdot 33,2 = 100,80 \text{ mm} < v_{\text{lim}} = 106,67 \text{ mm}$$

Iskoristivost:

$$\eta = \frac{v_{\text{Ed}}}{v_{\text{lim}}} \cdot 100\% = \frac{100,80}{106,67} \cdot 100\% = 94,50\%$$

3.1.2 Stup okvira

Najveći progib stupova glavnog nosača okvirnog sustava događa se za kombinaciju:

$$1,0 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,0 \times S + 1,0 \times W_2 + 1,0 \times W_4)$$

Visina stupova okvirnog sustava:

$$H = 5,20 \text{ m}$$

Najveći dopušteni progib:

$$v_{\text{lim}} = \frac{H}{300} = \frac{520}{300} = 1,733 \text{ cm} = 17,33 \text{ mm}$$

$$v_{\text{Ed}} = 1,0 \cdot (v_G + v_{dG}) + 0,9 \cdot (1,0 \cdot v_S + 1,0 \cdot v_{W_2} + 1,0 \cdot v_{W_4})$$

$$v_{\text{Ed}} = 1,0 \cdot (0,9 + 1,4) + 0,9 \cdot (1,0 \cdot 1,1 + 1,0 \cdot 2,8) = 5,81 \text{ mm} < v_{\text{lim}} = 17,33 \text{ mm}$$

Iskoristivost:

$$\eta = \frac{v_{\text{Ed}}}{v_{\text{lim}}} \cdot 100\% = \frac{5,81}{17,33} \cdot 100\% = 33,52\%$$

4 STATIČKI PRORAČUN

4.1 PRIKAZ REZNIH SILA GLAVNE NOSIVE KONSTRUKCIJE (OKVIR)

4.1.1 Vlastita težina

Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces

Values: M_y

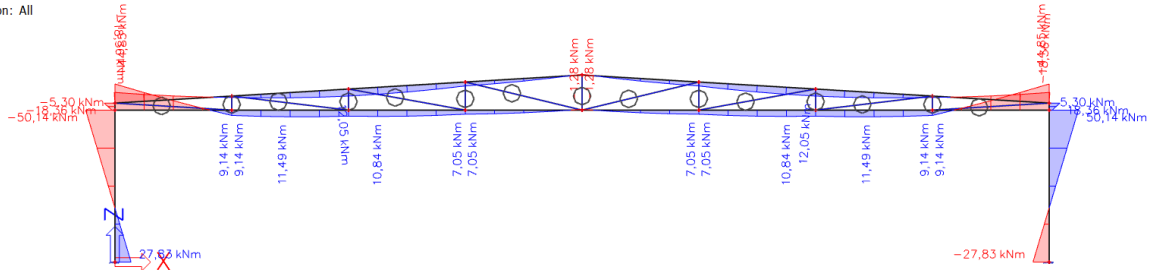
Linear calculation

Load case: Stalna Težina

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces

Values: V_z

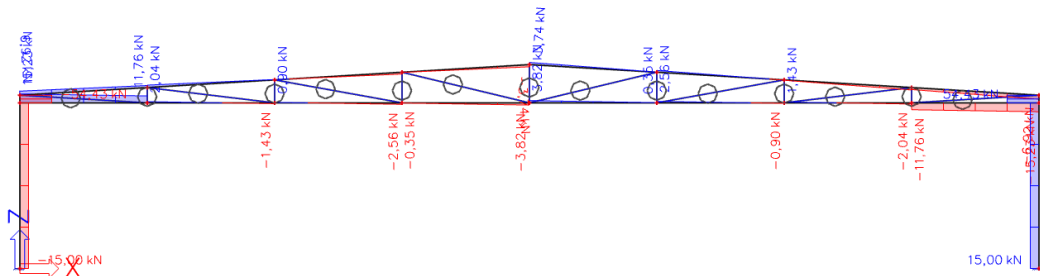
Linear calculation

Load case: Stalna Težina

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces

Values: N

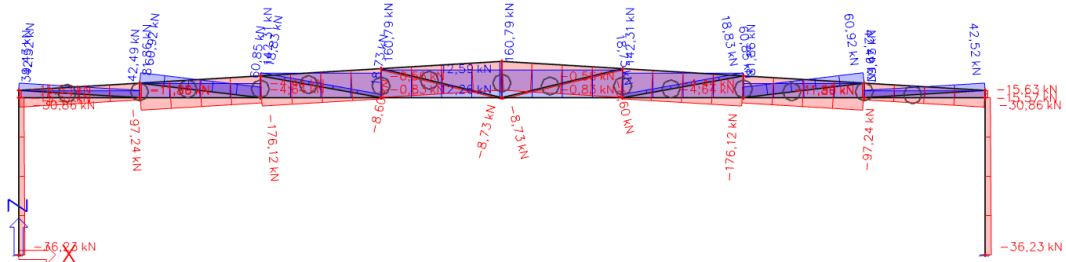
Linear calculation

Load case: Stalna Težina

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All

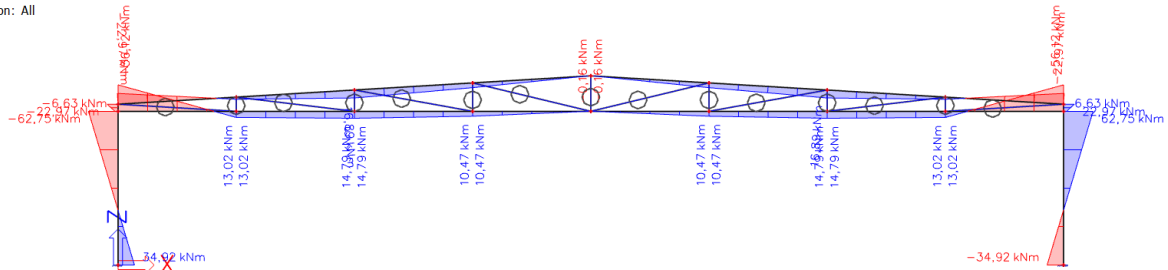


4.1.3 Snijeg

Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces

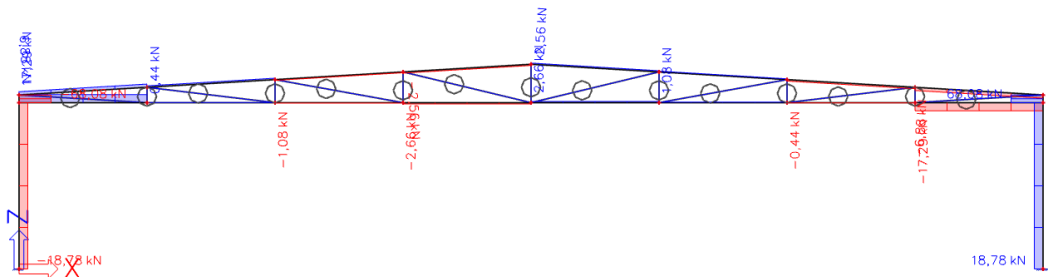
Values: M_y
 Linear calculation
 Load case: Snijeg
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces

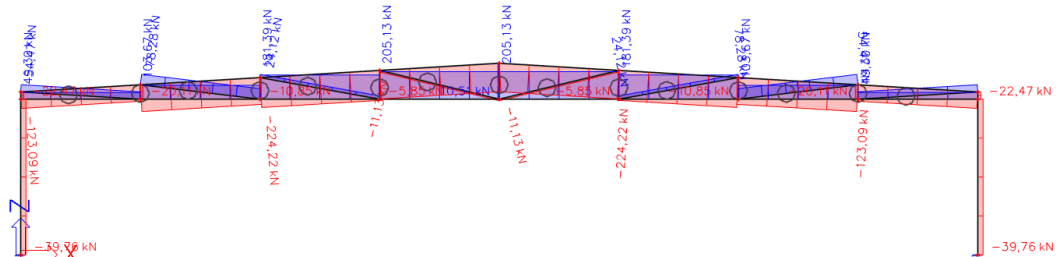
Values: V_z
 Linear calculation
 Load case: Snijeg
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces

Values: N
 Linear calculation
 Load case: Snijeg
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

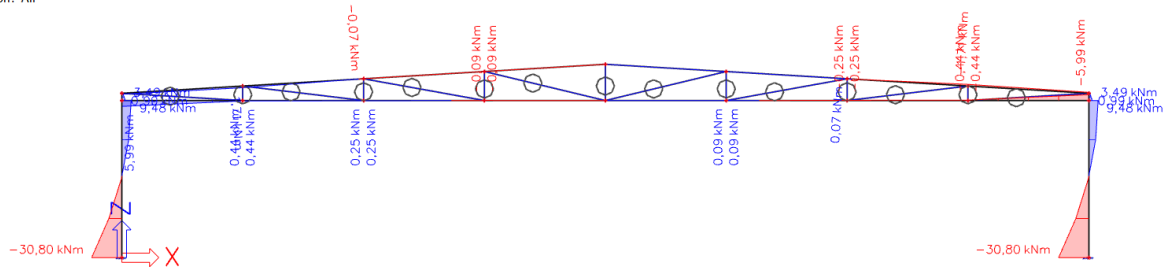


4.1.4 Vjetar W_{1x}

Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces

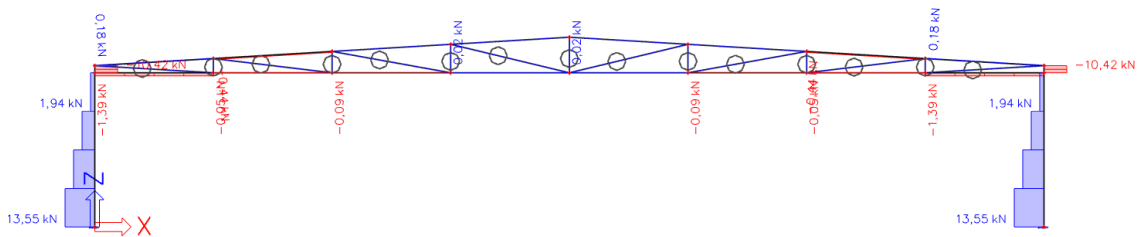
Values: **M_y**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W1
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces

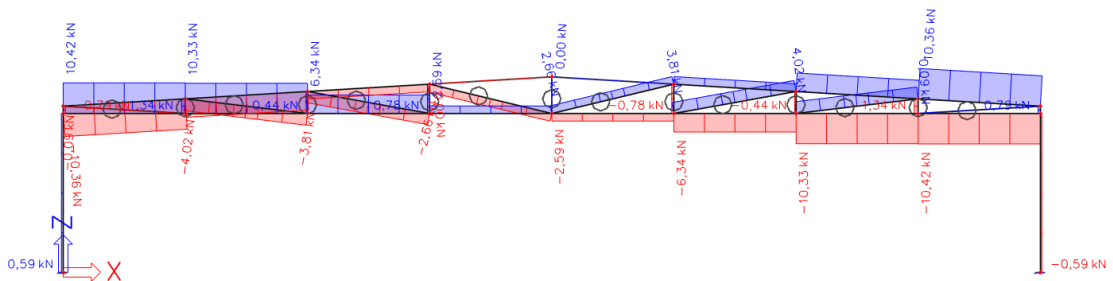
Values: **V_z**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W1
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces

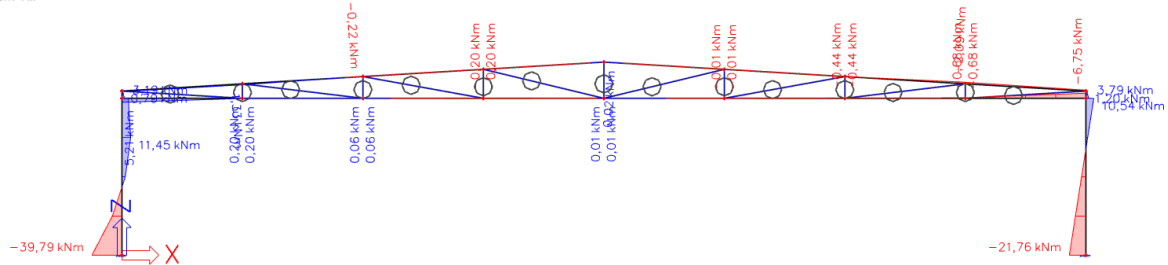
Values: **N**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W1
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



4.1.5 Vjetar W_{2x}

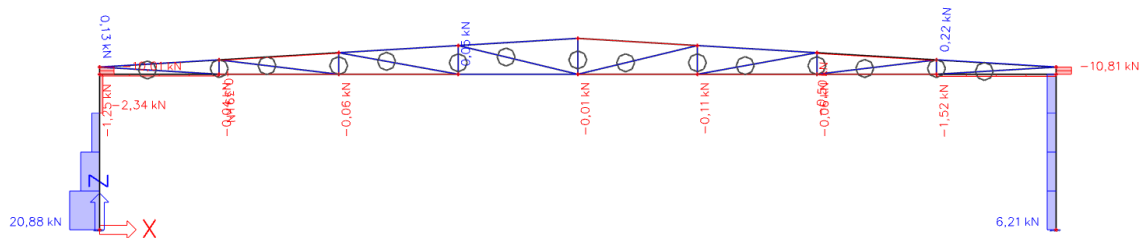
Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces
 Values: **M_y**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W2
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



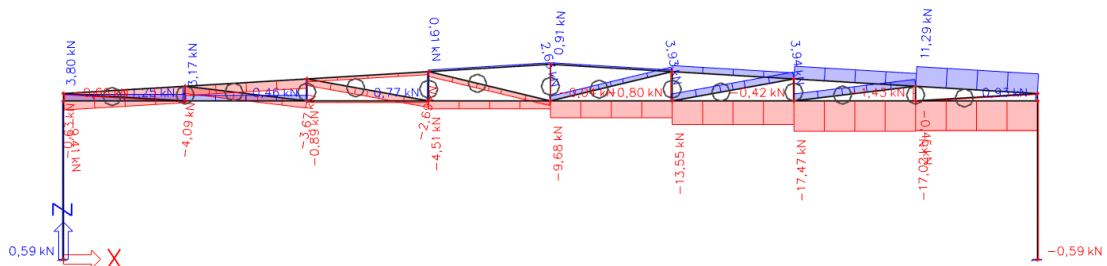
Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces
 Values: **V_z**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W2
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces
 Values: **N**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W2
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

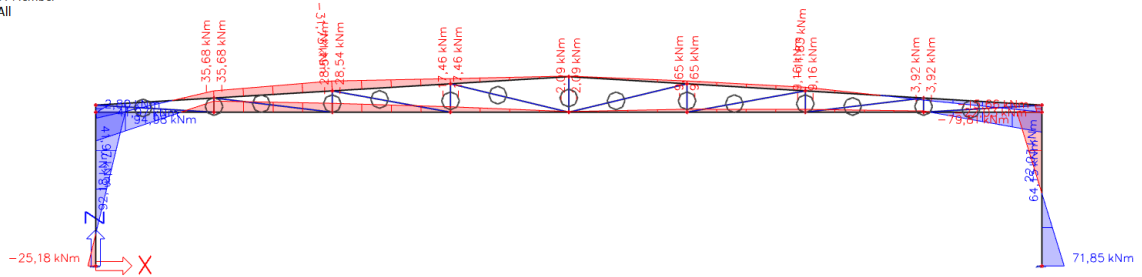


4.1.6 Vjetar W_{3y}

Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces

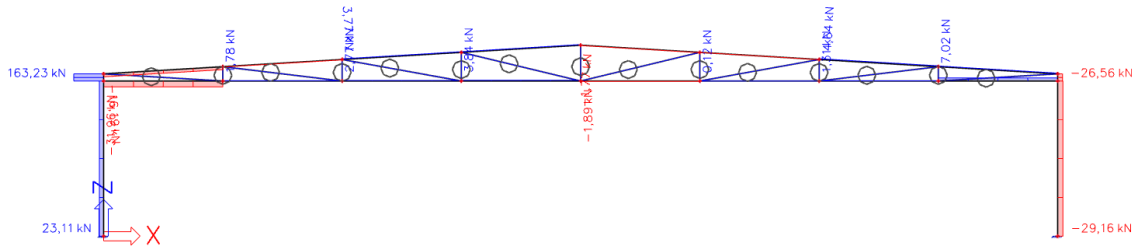
Values: **M_y**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W3
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces

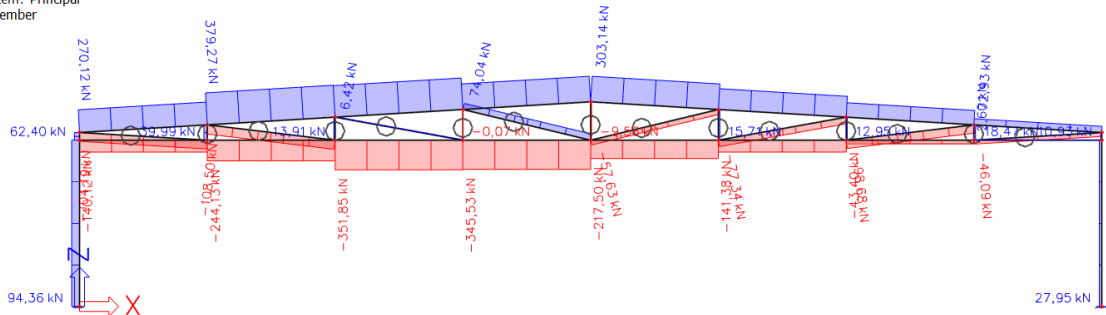
Values: **V_z**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W3
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces

Values: **N**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W3
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

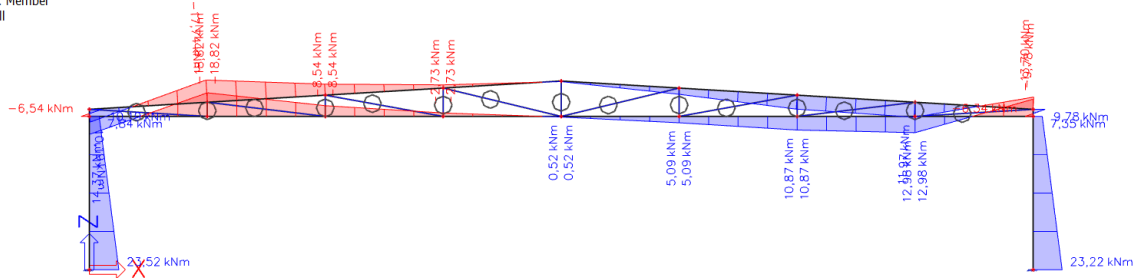


4.1.7 Vjetar W_{4y}

Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces

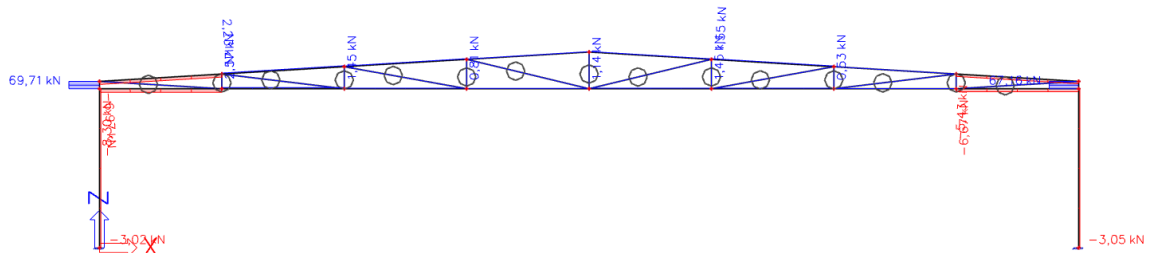
Values: **M_y**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W4
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces

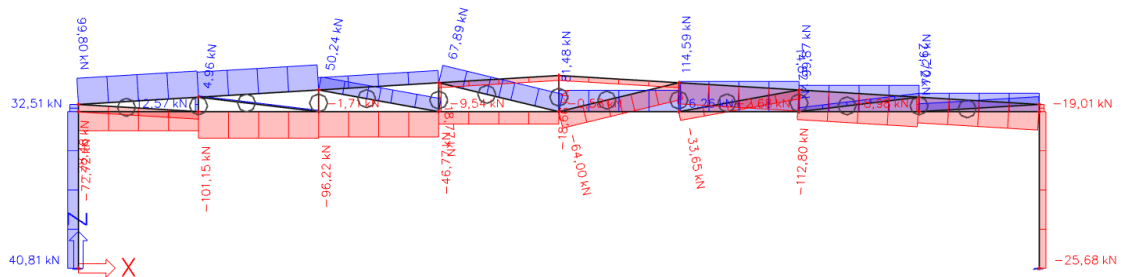
Values: **V_z**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W4
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces

Values: **N**
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W4
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



4.2 PRIKAZ REZNIH SILA KOMBINACIJA (GSN)

Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_2 + 1,5 \times W_4)$

Dijagram momenata savijanja M (kNm)

1D internal forces

Values: M_y

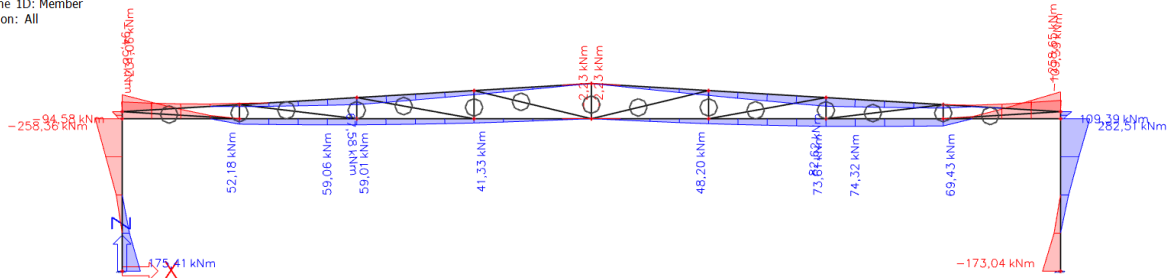
Linear calculation

Combination: GSN1

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram poprečnih sila V (kN)

1D internal forces

Values: V_z

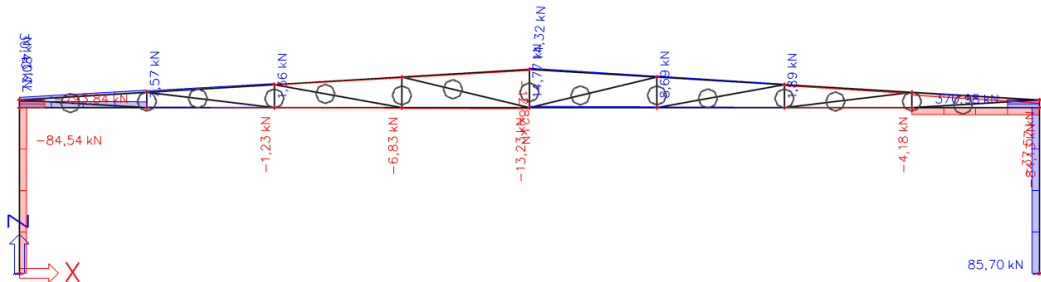
Linear calculation

Combination: GSN1

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces

Values: N

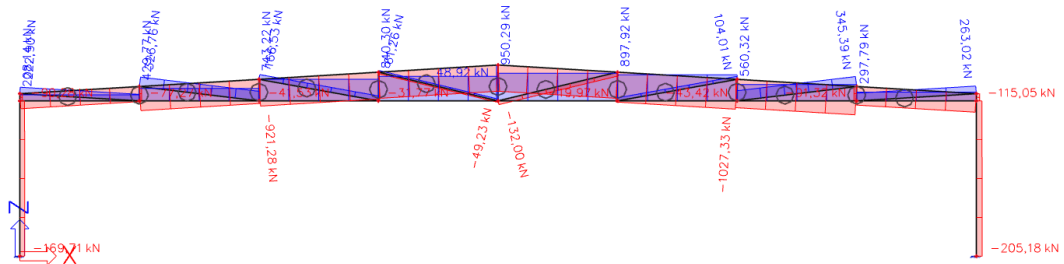
Linear calculation

Combination: GSN1

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



5 DIMENZIONIRANJE GLAVNE KONSTRUKCIJE

5.1 STUP GLAVNOG OKVIRA

5.1.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

Sile za najkritičniju kombinaciju:

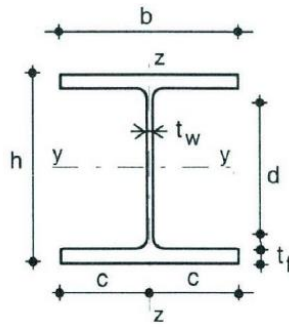
Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_2 + 1,5 \times W_4)$

Pripadajuće rezne sile u kritičnom presjeku, spoju stup - rešetka:

$$M_{y,Ed} = 282,51 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 85,70 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -115,05 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka**Slika 31. Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		HEA 340
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A (cm ²)		134,00
Moment tromosti	I_y (cm ⁴)	27700,00
	I_z (cm ⁴)	7440,00
Moment otpora	$W_{el,y}$ (cm ³)	1680,00
	$W_{pl,y}$ (cm ³)	1850,00
	$W_{el,z}$ (cm ³)	496,00
	$W_{pl,z}$ (cm ³)	754,17
Radijus tromosti	i_y (cm)	14,40
	i_z (cm)	7,50
Konstanta krivljenja	I_w (cm ⁶)	1824400,00
Torzijska konstanta	I_t (cm ⁴)	127,00
Visina presjeka h (mm)		330
Širina pojasnice b (mm)		300
Debljina pojasnice t_f (mm)		17
Debljina hrpta t_w (mm)		10
Radijus r (mm)		27

HRBAT

Materijal izrade: S355 $\rightarrow \varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{330 - 2 \cdot 17,0 - 2 \cdot 27,0}{10,0} = \frac{242,0}{10,0} = 24,2$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}}} = \frac{115,05}{2 \cdot 1,0 \cdot \frac{35,5}{1,0}} = 1,62 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{242,0} \cdot \left(\frac{242,0}{2} + 16,2 \right) = 0,567$$

$$\alpha = 0,567 \rightarrow \alpha \geq 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{24,2}{1,0} < \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,567 - 1}$$

$$24,2 < 50,34$$

Hrbat zadovoljava uvjet te je svrstan u klasu 1.

POJASNICA

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{300 - 10,0 - 2 \cdot 27,0}{2} = 6,94$$

$$6,94 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

Pojasnica zadovoljava uvjet te je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1. Mjerodavna je uvijek slabija klasa poprečnog presjeka.

5.1.2 Otpornost poprečnog presjeka**Otpornost poprečnog presjeka u tlaku**

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{134,0 \cdot 35,5}{1,0} = 4757,0 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$115,05 \text{ kN} < 4757,0 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1850,0 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 65675,0 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = 656,75 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$282,51 \text{ kNm} < 656,75 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{242,0}{10,0} = 24,2$$

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

$$24,2 \leq 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 134,0 - 2 \cdot 30,0 \cdot 1,7 + (1,0 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,7 = 42,88 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{42,88 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 878,87 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 878,87 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 85,70 \text{ kN}$$

Interakcija M-V-N

Promatrane sile nalaze se u vrhu stupa na spoju sa glavnim nosačem.

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

tada nema redukcije otpornosti na savijanje.

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 878,87 = 439,44 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 85,70 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 439,44 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 656,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{282,51 \text{ kNm}}{656,75 \text{ kNm}} = 0,430 < 1,0$$

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje:

$$1) \quad N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) \quad N_{Ed} \leq \frac{d \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 115,05 < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 4757,0 = 1189,25 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 115,05 < \frac{24,2 \cdot 1,0 \cdot 35,5}{2 \cdot 1,0} = 429,55 \text{ kN}$$

Riječ je o niskoj razini. Profil HEA 400 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA KOMBINACIJU DJELOVANJA MOMENTA SAVIJANJA I UZDUŽNE TLAČNE SILE

Uzdužna tlačna otpornost

DOKAZ NOSIVOSTI PREMA χ POSTUPKU

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot N_{c,Rd}$$

os y-y

os z-z

Dužina izvijanja

$$l_{iy} = H = 5,20 \text{ m}$$

$$l_{iz} = H/2 = 2,60 \text{ m}$$

Efektivna vitkost

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{520}{14,40} = 36,11$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{260}{7,50} = 34,67$$

Svedena vitkost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \beta_A^{\frac{1}{2}}$$

os y-y

os z-z

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{35,5}} = 76,41; \beta_A = 1,0$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{36,11}{76,41} \cdot 1,0 = 0,473$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{34,67}{76,41} \cdot 1,0 = 0,454$$

Mjerodavna linija izvijanja

$$\frac{h}{b} = \frac{330}{300} = 1,1 < 1,2$$

$$t_f = 19,0 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

linija izvijanja b

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,473 - 0,2) + 0,473^2 \right] = 0,658$$

linija izvijanja c

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,454 - 0,2) + 0,454^2 \right] = 0,665$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,658 + \sqrt{0,658^2 - 0,473^2}} = 1,115$$

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

$$\chi_z = \frac{1}{0,665 + \sqrt{0,665^2 - 0,454^2}} = 0,869$$

Mjerodavna je manja vrijednost.

$$\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,869$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,869 \cdot 134,0 \cdot 35,5}{1,0} = 4133,83 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 115,05 \text{ kN}$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$L = 2,60 \text{ m} = 260 \text{ cm} \rightarrow$ razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{33,0}{2} = 16,5 \text{ cm}$$

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

$$k = 0,7 \quad \Psi = M_h/M_s = -173,04/282,51 = -0,61 \quad C_1 = 2,42$$

$$k_w = 1,0 \quad C_2 = 0,00$$

$$M_{cr} = 2,42 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7440,0}{(0,7 \cdot 260,0)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{0,7}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{1824400}{7440,0} + \frac{(0,7 \cdot 260,0)^2 \cdot 8077 \cdot 134,00}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7440,0} + (0,00 \cdot 16,5)^2} - 0,00 \cdot 16,5 \right]$$

$$M_{cr} = 1349105,40 \text{ kNcm} = 13491,05 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Za klasu 1 i 2:

$$W_y = W_{pl,y}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1850,0 \cdot 35,5}{1349105,40}} = 0,22 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja može se zanemariti.

Faktor redukcije iznosi $\chi_{LT} = 1,0$

Računska otpornost na savijanje

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

$$M_{b,Rd} = \frac{1,0 \cdot 1850,0 \cdot 35,5}{1,0} = 65675,0 \text{ kNcm} = 656,75 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 656,75 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 282,51 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{282,51 \text{ kNm}}{656,75 \text{ kNm}} = 0,430 < 1,0$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

Interakcijski faktori k_{ij} za elemente koji jesu osjetljivi na torzijske deformacije:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = 0,473 \geq 0,4$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,454 \geq 0,4$$

$$\chi_y = 1,115$$

$$\chi_z = 0,869$$

$$N_{Rk} = N_{b,Rd} = 4757,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{b,Rd} = 656,75 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

Za koncentrirano opterećenje i $\psi = 0$:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,60 \cdot \left[1 + (0,473 - 0,2) \cdot \frac{115,05}{1,115 \cdot \frac{4757,0}{1,0}} \right] \leq 0,60 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{115,05}{1,115 \cdot \frac{4757,0}{1,0}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,604 < 1,017$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,454}{(0,60 - 0,25)} \cdot \frac{115,05}{0,869 \cdot \frac{4757,0}{1,0}} \right] \leq \left[1 - \frac{0,1}{(0,60 - 0,25)} \cdot \frac{115,05}{0,869 \cdot \frac{4757,0}{1,0}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,996 \geq 0,992$$

$$\frac{115,05}{1,115 \cdot \frac{4757,0}{1,0}} + 0,604 \cdot \frac{282,51}{1,0 \cdot \frac{656,75}{1,0}} = 0,282 \leq 1$$

$$\frac{115,05}{0,869 \cdot \frac{4757,0}{1,0}} + 0,996 \cdot \frac{282,51}{1,0 \cdot \frac{656,75}{1,0}} = 0,456 \leq 1$$

Odabrani profil HEA 340 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 45,60 \%$$

KOMENTAR: Iskorištenost poprečnog presjeka je niska. Za ovaj sustav nužno je da poprečni presjeci budu klase 1, stoga ovaj poprečni presjek je optimalan pri kontroli graničnog stanja uporabljivosti i graničnog stanja nosivosti.

5.2 REŠETKA GLAVNOG OKVIRA

5.2.1 Donja pojasnica i rubne vertikale

Sile za najkritičniju kombinaciju:

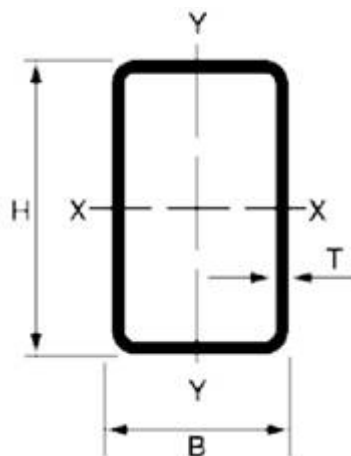
Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_2 + 1,5 \times W_4)$

Pripadajuće rezne sile u kritičnom presjeku, spoju stup - greda:

$$M_{y,Ed} = 258,65 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 84,13 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 297,79 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka**Slika 32. Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		CFRHS 300 x 300 x 8
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A (cm ²)		91,24
Moment tromosti	I_y (cm ⁴)	12801,0
	I_z (cm ⁴)	12801,0
Moment otpora	$W_{el,y}$ (cm ³)	853,38
	$W_{pl,y}$ (cm ³)	990,67
	$W_{el,z}$ (cm ³)	853,38
	$W_{pl,z}$ (cm ³)	990,67
Radijus tromosti	i_y (cm)	11,80
	i_z (cm)	11,80
Konstanta krivljenja	I_w (cm ⁶)	1620000,0
Torzijska konstanta	I_t (cm ⁴)	20312,0
Visina presjeka h (mm)		300
Širina pojasnice b (mm)		300
Debljina pojasnice t_f (mm)		8
Debljina hrpta t_w (mm)		8
Radijus r (mm)		20

5.2.1.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT

Materijal izrade: S355 $\rightarrow \varepsilon = 0,81$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$d = h - 3 \cdot t$$

$$d = 300 - 3 \cdot 8 = 276 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{27,6}{0,8} < 72 \cdot 0,81$$

$$34,5 < 58,32$$

Hrbat zadovoljava uvjet te je svrstan u klasu 1.

POJASNICA

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$d = h - 3 \cdot t$$

$$d = 300 - 3 \cdot 8 = 276 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{27,6}{0,8} < 72 \cdot 0,81$$

$$34,5 < 58,32$$

Pojasnica zadovoljava uvjet te je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1. Mjerodavna je uvijek slabija klasa poprečnog presjeka.

5.2.1.2 Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka u vlaku

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{91,24 \cdot 35,5}{1,0} = 3239,02 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$297,79 \text{ kN} < 3239,02 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{990,67 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 35168,79 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,Rd} = 351,69 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$258,65 \text{ kNm} < 351,69 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{276,0}{8,0} = 34,5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \cdot 0,81 = 55,89$$

$$34,5 \leq 55,89$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot d \cdot t$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot 27,6 \cdot 0,8 = 44,16 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{44,16 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 905,10 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 905,10 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 84,13 \text{ kN}$$

Interakcija M-V

Promatrane sile nalaze se u vrhu stupa na spoju sa glavnim nosačem.

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

tada nema redukcije otpornosti na savijanje.

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 905,10 = 452,55 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 84,13 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 452,55 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 351,69 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{258,65 \text{ kNm}}{351,69 \text{ kNm}} = 0,735 < 1,0$$

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje:

$$1) \quad N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) \quad N_{Ed} \leq \frac{d \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 297,79 < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 3239,02 = 809,76 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 297,79 < \frac{27,6 \cdot 1,0 \cdot 35,5}{2 \cdot 1,0} = 489,9 \text{ kN}$$

Riječ je o niskoj razini uzdužne sile. Ne postoji redukcija otpornosti na savijanje, jer su ispunjeni uvjeti (1) i (2).

$$\frac{M_{N,y,Rd}}{M_{pl,y,Rd}} = 1,0$$

$$M_{N,y,Rd} = 351,69 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 258,65 \text{ kNm}$$

Profil CFRHS 300 x 300 x 10 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$L = 32,0 \text{ m} = 3200 \text{ cm} \rightarrow$ razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{30,0}{2} = 15,0 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

Prema dijagramu momenta savijanja:

$$C_1 = 2,578$$

$$C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12801,0}{(1,0 \cdot 3200)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{1620000}{12801,0} + \frac{(1,0 \cdot 3200)^2 \cdot 8077 \cdot 20312,0}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12801,0}} + (1,554 \cdot 15,0)^2 - 1,554 \cdot 15,0 \right]$$

$$M_{cr} = 516226,43 \text{ kNcm} = 5162,26 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Za klasu 1 i 2:

$$W_y = W_{pl,y}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{990,67 \cdot 35,5}{516226,43}} = 0,26 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja može se zanemariti.

Faktor redukcije iznosi $\chi_{LT} = 1,0$

Računska otpornost na savijanje

$$M_{b,Rd} = \frac{1,0 \cdot 990,67 \cdot 35,5}{1,0} = 35168,79 \text{ kNcm} = 351,69 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 351,69 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 258,65 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{258,65 \text{ kNm}}{351,69 \text{ kNm}} = 0,735 < 1,0$$

Odabrani profil CFRHS 300 x 300 x 10 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 73,50 \%$$

KOMENTAR: Iskorištenost poprečnog presjeka je zadovoljavajuća. Za ovaj sustav nužno je da poprečni presjeci budu klase 1, stoga ovaj poprečni presjek je optimalan pri kontroli graničnog stanja uporabljivosti i graničnog stanja nosivosti.

5.2.2 Gornja pojasnica

Sile za najkritičniju kombinaciju:

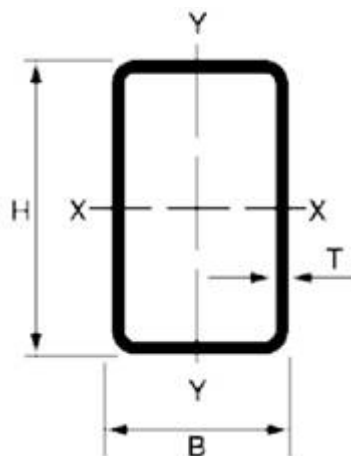
Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_2 + 1,5 \times W_4)$

Pripadajuće rezne sile u kritičnom presjeku, spoju gornja pojasnica-vertikala:

$$M_{y,Ed} = 109,39 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 37,57 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -637,38 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka**Slika 33. Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		CFRHS 300 x 300 x 12,5
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A (cm ²)		137,04
Moment tromosti	I _y (cm ⁴)	18348,0
	I _z (cm ⁴)	18348,0
Moment otpora	W _{el,y} (cm ³)	1223,20
	W _{pl,y} (cm ³)	1450,60
	W _{el,z} (cm ³)	1223,20
	W _{pl,z} (cm ³)	1450,60
Radijus tromosti	i _y (cm)	11,60
	i _z (cm)	11,60
Konstanta krivljenja	I _w (cm ⁶)	2531200,0
Torzijska konstanta	I _t (cm ⁴)	30601,0
Visina presjeka h (mm)		300
Širina pojasnice b (mm)		300
Debljina pojasnice t _f (mm)		12,5
Debljina hrpta t _w (mm)		12,5
Radijus r (mm)		38

5.2.2.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$d = h - 3 \cdot t$$

$$d = 300 - 3 \cdot 12,5 = 262,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 12,5 \text{ mm}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}}} = \frac{637,38}{2 \cdot 12,5 \cdot \frac{35,5}{1,0}} = 7,18 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{262,5} \cdot \left(\frac{262,5}{2} + 71,80 \right) = 0,774$$

$$\alpha = 0,774 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{26,25}{1,25} < \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,774 - 1}$$

$$21,0 < 35,40$$

Hrbat zadovoljava uvjet te je svrstan u klasu 1.

POJASNICA

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$d = h - 3 \cdot t$$

$$d = 300 - 3 \cdot 12,5 = 262,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 12,5 \text{ mm}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}}} = \frac{637,38}{2 \cdot 12,5 \cdot \frac{355}{1,0}} = 7,18 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{262,5} \cdot \left(\frac{262,5}{2} + 71,80 \right) = 0,774$$

$$\alpha = 0,774 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (pojasnica izložena tlaku i savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{26,25}{1,25} < \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,774 - 1}$$

$$21,0 < 35,40$$

Pojasnica zadovoljava uvjet te je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1. Mjerodavna je uvijek slabija klasa poprečnog presjeka.

5.2.2.2 Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{137,04 \cdot 35,5}{1,0} = 4864,92 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$637,38 \text{ kN} < 4864,92 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1450,60 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 51496,30 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,Rd} = 514,96 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$109,39 \text{ kNm} < 514,96 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{262,5}{12,5} = 21,0$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \cdot 0,81 = 55,89$$

$$21,0 \leq 55,89$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot d \cdot t$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot 26,25 \cdot 1,25 = 65,63 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{65,63 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 1345,15 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 1345,15 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 84,13 \text{ kN}$$

Interakcija M-V-N

Promatrane sile nalaze se na spoju rubne vertikale sa gornjom pojasnicom glavnog nosača.

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

tada nema redukcije otpornosti na savijanje.

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 1345,15 = 672,58 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 84,13 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 672,58 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 514,96 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{109,39 \text{ kNm}}{514,96 \text{ kNm}} = 0,212 < 1,0$$

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje:

$$1) \quad N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) \quad N_{Ed} \leq \frac{d \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 637,38 < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 4864,92 = 1216,23 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 637,38 < \frac{26,25 \cdot 1,25 \cdot 35,5}{2 \cdot 1,0} = 1164,84 \text{ kN}$$

Riječ je o niskoj razini uzdužne sile. Ne postoji redukcija otpornosti na savijanje, jer su ispunjeni uvjeti (1) i (2).

$$\frac{M_{N,y,Rd}}{M_{pl,y,Rd}} = 1,0$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 514,96 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = 514,96 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 109,39 \text{ kNm}$$

Profil CFRHS 300 x 300 x 12,5 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA KOMBINACIJU DJELOVANJA MOMENTA SAVIJANJA I UZDUŽNE TLAČNE SILE

Uzdužna tlačna otpornost

DOKAZ NOSIVOSTI PREMA χ POSTUPKU

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot N_{c,Rd}$$

os y-y

os z-z

Dužina izvijanja

$$l_{iy} = (L/2)/\cos(3,43^\circ) = 16,03 \text{ m}$$

$$l_{iz} = (L/2)/\cos(3,43^\circ) = 16,03 \text{ m}$$

Efektivna vitkost

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1603}{11,6} = 138,19$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{1603}{11,6} = 138,19$$

Svedena vitkost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \beta_A^{\frac{1}{2}}$$

os y-y

os z-z

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{35,5}} = 76,41; \beta_A = 1,0$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{138,19}{76,41} \cdot 1,0 = 1,809$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{138,19}{76,41} \cdot 1,0 = 1,809$$

Mjerodavna linija izvijanja oko bilo koje osi za hladno oblikovane šuplje pravokutne poprečne presjeke je linija izvijanja c.

linija izvijanja c

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,809 - 0,2) + 1,809^2 \right] = 2,530$$

linija izvijanja c

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,809 - 0,2) + 1,809^2 \right] = 2,530$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{2,530 + \sqrt{2,530^2 - 1,809^2}} = 0,233$$

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

$$\chi_z = \frac{1}{2,530 + \sqrt{2,530^2 - 1,809^2}} = 0,233$$

Mjerodavna je manja vrijednost.

$$\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,233$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,233 \cdot 137,04 \cdot 35,5}{1,0} = 1133,53 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 637,38 \text{ kN}$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$L = 8,0 / \cos(3,43^\circ) \text{ m} = 8,01 \text{ m} = 801 \text{ cm} \rightarrow$ razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{30,0}{2} = 15,0 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

Prema dijagramu momenta savijanja:

$$C_1 = 1,77$$

$$\psi = 0$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 18348,0}{(1,0 \cdot 801)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{2531200}{18348,0} + \frac{(1,0 \cdot 801)^2 \cdot 8077 \cdot 30601,0}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 18348,0}} + (0 \cdot 15,0)^2 - 0 \cdot 15,0 \right]$$

$$M_{cr} = 2145876,25 \text{ kNcm} = 21458,76 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Za klasu 1 i 2:

$$W_y = W_{pl,y}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1450,6 \cdot 35,5}{2145876,25}} = 0,15 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja može se zanemariti.

Faktor redukcije iznosi $\chi_{LT} = 1,0$

Računska otpornost na savijanje

$$M_{b,Rd} = \frac{1,0 \cdot 1405,6 \cdot 35,5}{1,0} = 51496,3 \text{ kNcm} = 514,96 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 514,96 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 109,39 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{109,39 \text{ kNm}}{514,96 \text{ kNm}} = 0,212 < 1,0$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

Interakcijski faktori k_{ij} za elemente koji jesu osjetljivi na torzijske deformacije:

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

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

$$\bar{\lambda}_y = 1,809 \geq 0,4$$

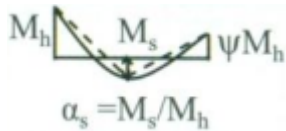
$$\bar{\lambda}_z = 1,809 \geq 0,4$$

$$\chi_y = 0,233$$

$$\chi_z = 0,233$$

$$N_{Rk} = N_{b,Rd} = 4864,92 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{b,Rd} = 514,96 \text{ kNm}$$



$$\alpha_s = M_s/M_h = -82,62/109,39 = -0,76$$

$$\psi = 0$$

Za koncentrirano opterećenje i $\psi = 0$:

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 + 0,8 \cdot 0,76 = 0,708 \geq 0,4$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,708$$

$$k_{yy} = 0,708 \cdot \left[1 + (1,809 - 0,2) \cdot \frac{637,38}{0,233 \cdot \frac{4864,92}{1,0}} \right] \leq 0,708 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{637,38}{0,233 \cdot \frac{4864,92}{1,0}} \right]$$

$$k_{yy} = 1,349 > 1,026$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,809}{(0,708 - 0,25)} \cdot \frac{637,38}{0,233 \cdot \frac{4864,92}{1,0}} \right] \leq \left[1 - \frac{0,1}{(0,708 - 0,25)} \cdot \frac{637,38}{0,233 \cdot \frac{4864,92}{1,0}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,778 < 0,877$$

$$\frac{637,38}{0,233 \cdot \frac{4864,92}{1,0}} + 1,349 \cdot \frac{109,39}{1,0 \cdot 514,96} = 0,849 \leq 1$$

$$\frac{637,38}{0,233 \cdot \frac{4864,92}{1,0}} + 0,778 \cdot \frac{109,39}{1,0 \cdot \frac{514,96}{1,0}} = 0,728 \leq 1$$

Odabrani profil CFRHS 300 x 300 x 12,5 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 84,90 \%$$

KOMENTAR: Iskorištenost poprečnog presjeka je zadovoljavajuća. Za ovaj sustav nužno je da poprečni presjeci budu klase 1, stoga ovaj poprečni presjek je optimalan pri kontroli graničnog stanja uporabljivosti i graničnog stanja nosivosti.

5.2.3 Unutarnje vertikale i dijagonale

Sile za najkritičniju kombinaciju:

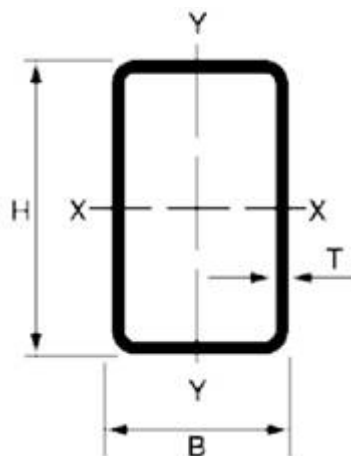
Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_2 + 1,5 \times W_4)$

Pripadajuće rezne sile u kritičnom presjeku, spoju dijagonale sa središnjom vertikalom i donjom pojasnicom:

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -131,96 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka**Slika 34. Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		CFRHS 120 x 120 x 4
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A (cm ²)		26,42
Moment tromosti	I_y (cm ⁴)	562,16
	I_z (cm ⁴)	562,16
Moment otpora	$W_{el,y}$ (cm ³)	93,69
	$W_{pl,y}$ (cm ³)	111,61
	$W_{el,z}$ (cm ³)	93,69
	$W_{pl,z}$ (cm ³)	111,61
Radijus tromosti	i_y (cm)	4,6
	i_z (cm)	4,6
Konstanta krivljenja	I_w (cm ⁶)	12442,0
Torzijska konstanta	I_t (cm ⁴)	913,46
Visina presjeka h (mm)		120
Širina pojasnice b (mm)		120
Debljina pojasnice t_f (mm)		6
Debljina hrpta t_w (mm)		6
Radijus r (mm)		12

5.2.3.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$d = h - 3 \cdot t$$

$$d = 120 - 3 \cdot 6,0 = 102 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku):

$$\frac{d}{t_w} < 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{10,2}{0,6} < 33 \cdot 0,81$$

$$17,0 < 26,73$$

Hrbat zadovoljava uvjet te je svrstan u klasu 1.

POJASNICA

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$d = h - 3 \cdot t$$

$$d = 120 - 3 \cdot 6,0 = 102 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu presjeka I (pojasnica izložen tlaku):

$$\frac{d}{t_w} < 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{10,2}{0,6} < 33 \cdot 0,81$$

$$17,0 < 26,73$$

Pojasnica zadovoljava uvjet te je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1. Mjerodavna je uvijek slabija klasa poprečnog presjeka.

5.2.3.2 Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{26,43 \cdot 35,5}{1,0} = 938,27 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$131,96 \text{ kN} < 938,27 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Profil CFRHS 120 x 120 x 4 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA DJELOVANJE UZDUŽNE TLAČNE SILE

Uzdužna tlačna otpornost

DOKAZ NOSIVOSTI PREMA χ POSTUPKU

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot N_{c,Rd}$$

os y-y

OS Z-Z

Dužina izvijanja

$$l_{iy} = 4,114 \text{ m}$$

$$l_{iy} = 4,114 \text{ m}$$

Efektivna vitkost

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{411,4}{4,6} = 89,43$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{411,4}{4,6} = 89,43$$

Svedena vitkost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \beta_A^{\frac{1}{2}}$$

os y-y

OS Z-Z

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{35,5}} = 76,41; \beta_A = 1,0$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{89,43}{76,41} \cdot 1,0 = 1,170$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{89,43}{76,41} \cdot 1,0 = 1,170$$

Mjerodavna linija izvijanja oko bilo koje osi za hladno oblikovane šuplje pravokutne poprečne presjeke je linija izvijanja c.

linija izvijanja c

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,170 - 0,2) + 1,170^2 \right] = 1,422$$

linija izvijanja c

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,170 - 0,2) + 1,170^2 \right] = 1,422$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,422 + \sqrt{1,422^2 - 1,170^2}} = 0,448$$

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

$$\chi_z = \frac{1}{1,422 + \sqrt{1,422^2 - 1,170^2}} = 0,448$$

Mjerodavna je manja vrijednost.

$$\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,448$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,448 \cdot 26,43 \cdot 35,5}{1,0} = 420,34 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 131,96 \text{ kN}$$

Odabrani profil CFRHS 120 x 120 x 4 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 31,39 \%$$

KOMENTAR: Iskorištenost poprečnog presjeka je niska. Za ovaj sustav nužno je da poprečni presjeci budu klase 1, stoga ovaj poprečni presjek je optimalan pri kontroli graničnog stanja uporabljivosti i graničnog stanja nosivosti.

6 DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

6.1 KROVNE PODROŽNICE

Krovne podrožnice dimenzionirane su kao kontinuirani nosač u duljini $10 \times n = 62,0$ m, oslonjene na razmaku svako drugog okvira. Okviri se nalaze na razmaku $n = 6,2$ m.

Kritična djelujuća kombinacija:

Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_4)$

Dodatno stalno opterećenje

$$G_{k,y} = 0,50 \text{ kN/m}^2 * \cos(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 1,00 \text{ kN/m'}$$

$$G_{k,x} = 0,50 \text{ kN/m}^2 * \sin(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 0,06 \text{ kN/m'}$$

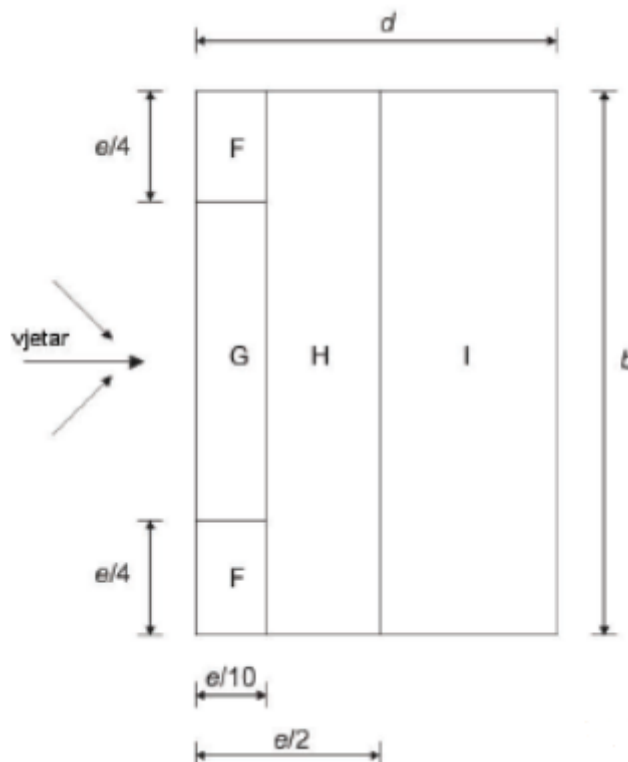
Opterećenje snijegom

$$S_{k,y} = 0,40 \text{ kN/m}^2 * \cos(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 0,40 \text{ kN/m'}$$

$$S_{k,x} = 0,40 \text{ kN/m}^2 * \sin(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 0,05 \text{ kN/m'}$$

Iako je utjecaj iz lokalnog x - smjera zanemariv, promatra se kao dvoosno savijanje.

Opterećenje vjetrom W_4



Slika 35. Prikaz područja vjetra za ravni krov

$$e = \min \{b; 2h\}$$

b - dimenzija okomito na vjetar

$$e = 2 \cdot h = 2 \cdot 6,40 = 12,80 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 12,80 \text{ m} < 32,0 \text{ m}$$

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = (4,0/\cos(3,43^\circ))/2 = 2,00 \text{ m} \rightarrow \text{razmak između glavnih i sekundarnih podrožnica}$$

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m ²)	-1,73	-1,15	-0,67	+0,19
w_i (kN/m ²)	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
w_k (kN/m ²)	-1,44	-0,86	-0,38	+0,48
W_k (kN/m')	-2,88	-1,72	-0,76	+0,96

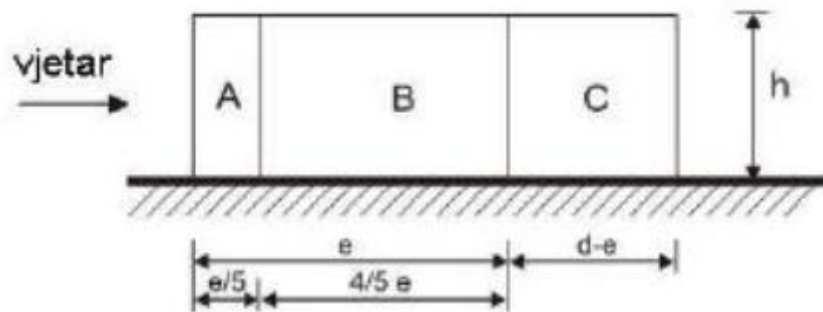
Slika 36. Raspodjela opterećenja vjetrom W_4 po zonama

Pritiskajući vjetar za kritičnu kombinaciju djeluje na krovne podrožnice u zoni F, odnosno G. Zbog jednostavnosti uzima se u prvom i krajnjem polju opterećenje vjetrom u zoni F, dok u preostalima opterećenje vjetrom u zoni G.

$$W_F = -2,88 \text{ kN/m}'$$

$$W_G = -1,72 \text{ kN/m}'$$

Opterećenje vjetrom W_1



Slika 37. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove - bočni pogled

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = (4,0/\cos(3,43^\circ))/2 = 2,00 \text{ m} \rightarrow \text{razmak između glavnih i sekundarnih področnica}$$

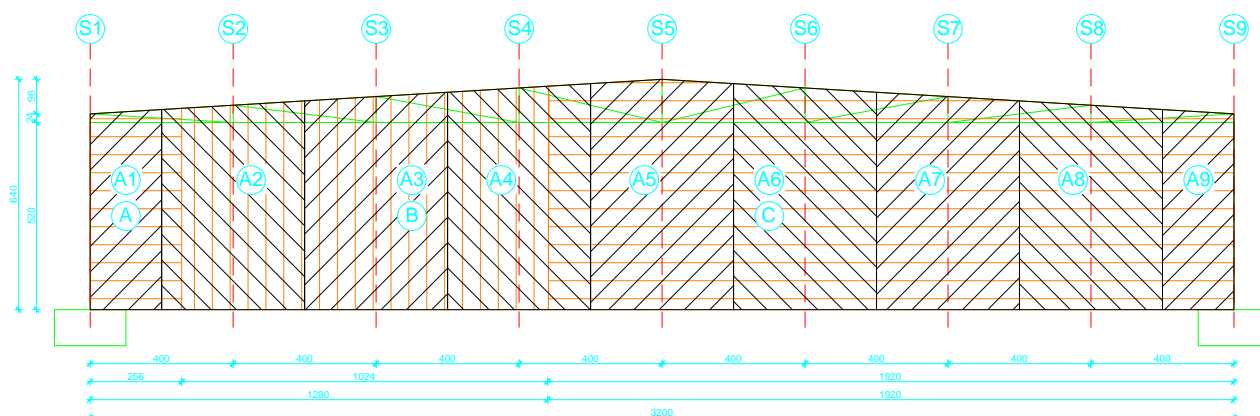
PODRUČJE	A	B	C
w_e (kN/m ²)	-1,15	-0,77	-0,48
w_i (kN/m ²)	+0,19	+0,19	+0,19
w_k (kN/m ²)	-1,34	-0,96	-0,67
W_k (kN)	-2,68	-1,92	-4,15

Slika 38. Raspodjela opterećenja vjetrom W_1 po zonama

Pritiskajući vjetar za kritičnu kombinaciju djeluje na krovne področnice u zoni A, odnosno B. Zbog jednostavnosti uzima se u krovna področnica opterećena vjetrom između osi A, odnosno B te njihovim zbrojem dobiva se srednja vrijednost kao mjerodavna.

Uzimaju se mjerodavne utjecajne površine za pojedinu od zona te odgovarajuće koncentrirane sile koje pritišću krovne področnice.

$$W_{A/B} = \frac{w_A \cdot A_1}{2} + \frac{w_B \cdot A_2}{2} = \frac{-2,68 \cdot 11,00}{2} + \frac{-1,92 \cdot 22,72}{2} = 36,55 \text{ kN}$$



Slika 39. Prikaz područja djelovanja na zabat

Utjecajne širine djelovanja:

$A_1 = 11,00 \text{ m}^2$	$A_6 = 24,64 \text{ m}^2$
$A_2 = 22,72 \text{ m}^2$	$A_7 = 23,68 \text{ m}^2$
$A_3 = 23,68 \text{ m}^2$	$A_8 = 22,72 \text{ m}^2$
$A_4 = 24,64 \text{ m}^2$	$A_9 = 11,00 \text{ m}^2$
$A_5 = 25,36 \text{ m}^2$	

6.1.1 Prikaz opterećenja

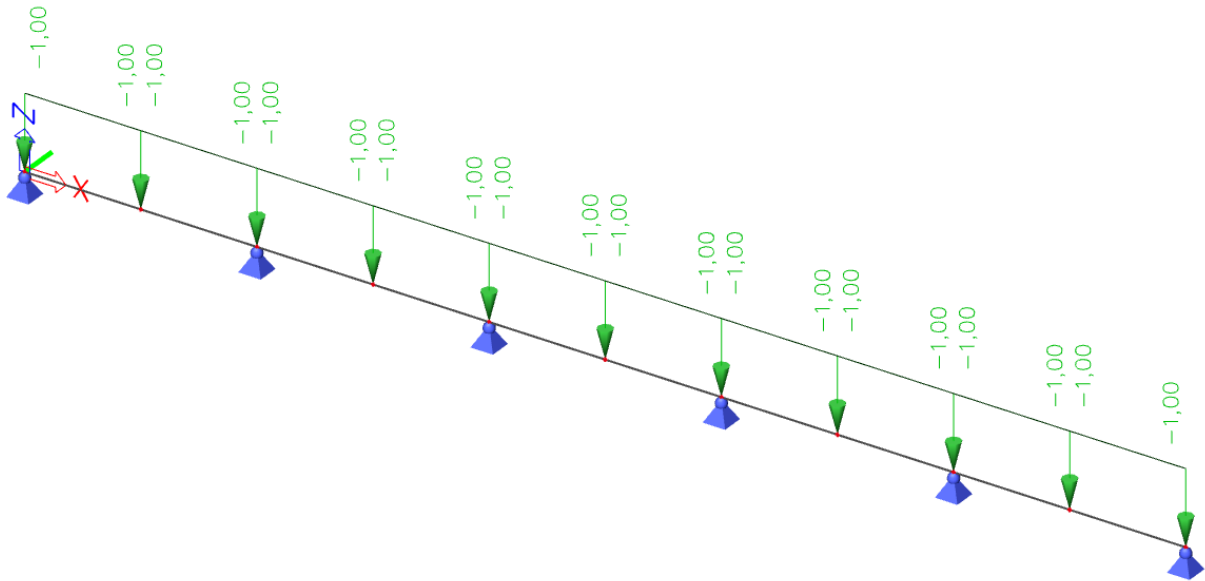
6.1.1.1 Vlastita težina

Vlastita težina automatski je uključena u računalnom programu Scia Engineer i nije je potrebno zasebno nanositi.

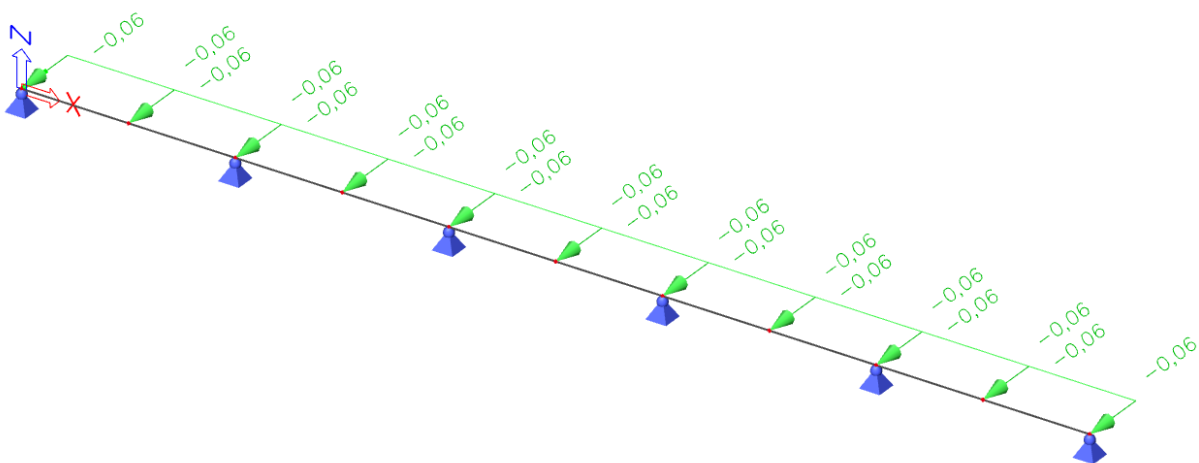
6.1.1.2 Dodatno stalno opterećenje

$$G_{k,z} = 0,50 \text{ kN/m}^2 * \cos(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 1,00 \text{ kN/m'}$$

$$G_{k,y} = 0,50 \text{ kN/m}^2 * \sin(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 0,06 \text{ kN/m'}$$



Slika 40. Raspodjela dodatnog stalnog opterećenja $G_{k,z}$

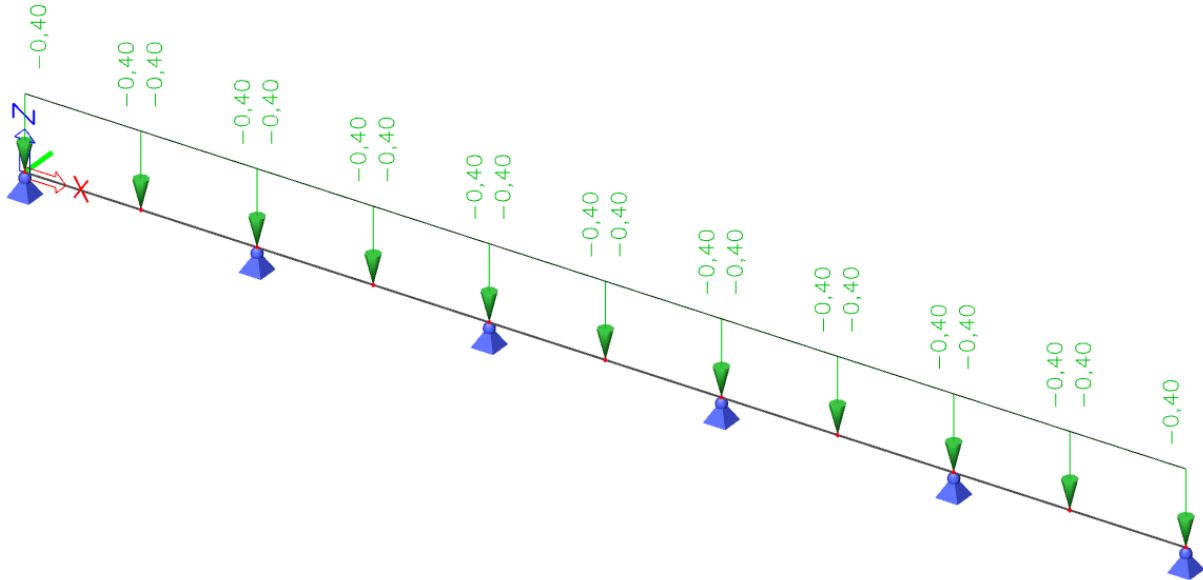


Slika 41. Raspodjela dodatnog stalnog opterećenja $G_{k,y}$

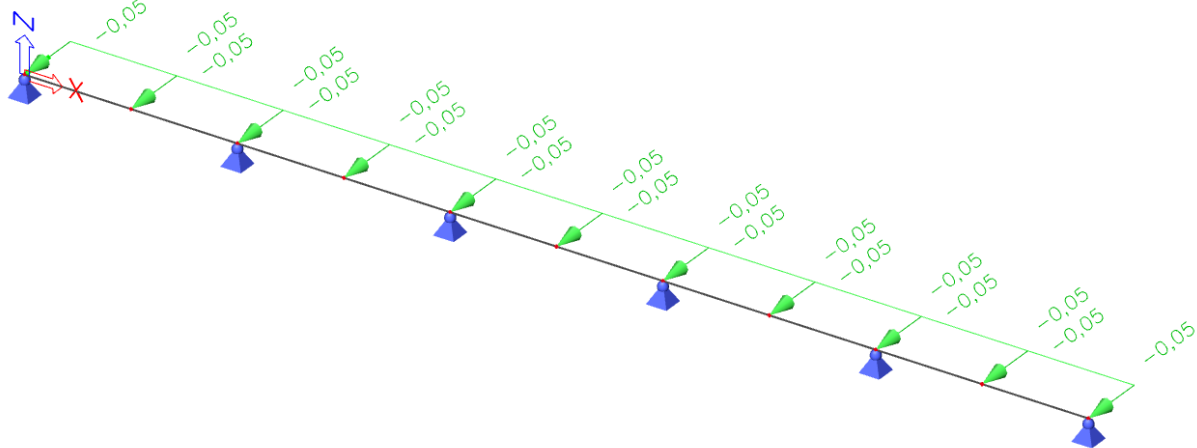
6.1.1.3 Opterećenje snijegom

$$S_{k,z} = 0,40 \text{ kN/m}^2 * \cos(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 0,40 \text{ kN/m'}$$

$$S_{k,y} = 0,40 \text{ kN/m}^2 * \sin(3,43^\circ) 2,00 \text{ m} = 0,05 \text{ kN/m'}$$



Slika 42. Raspodjela opterećenja snijegom $S_{k,z}$

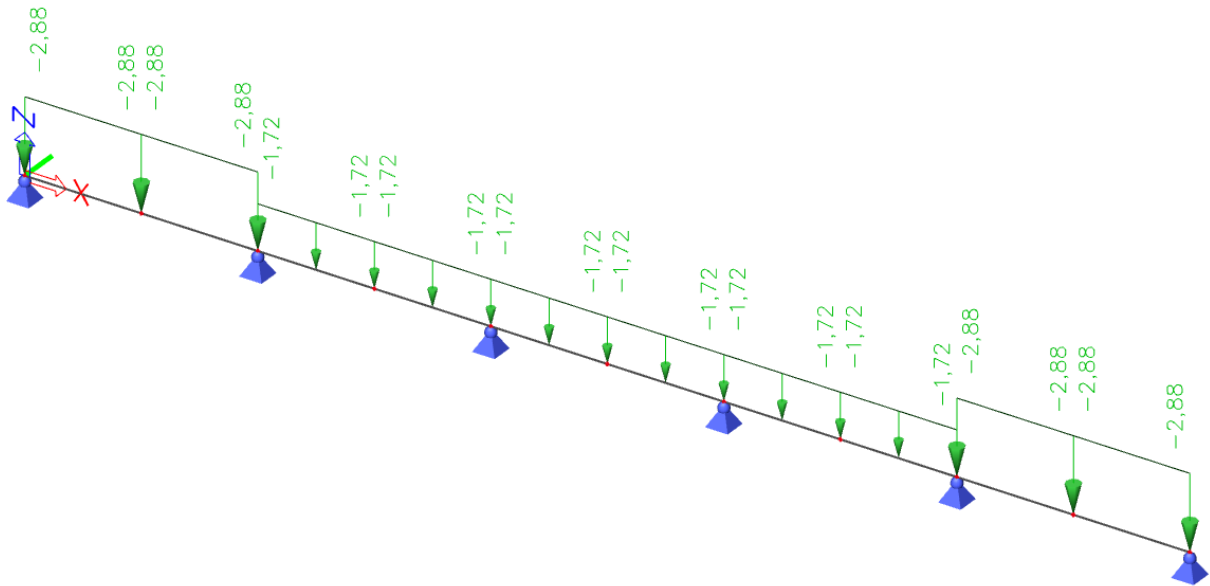


Slika 43. Raspodjela opterećenja snijegom $S_{k,y}$

6.1.1.4 Opterećenje vjetrom W_4

$$W_F = -2,88 \text{ kN/m'}$$

$$W_G = -1,72 \text{ kN/m'}$$



Slika 44. Raspdjela opterećenja vjetrom W_4

6.1.2 Prikaz reznih sila

6.1.2.1 Vlastita težina

Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces

Values: M_y

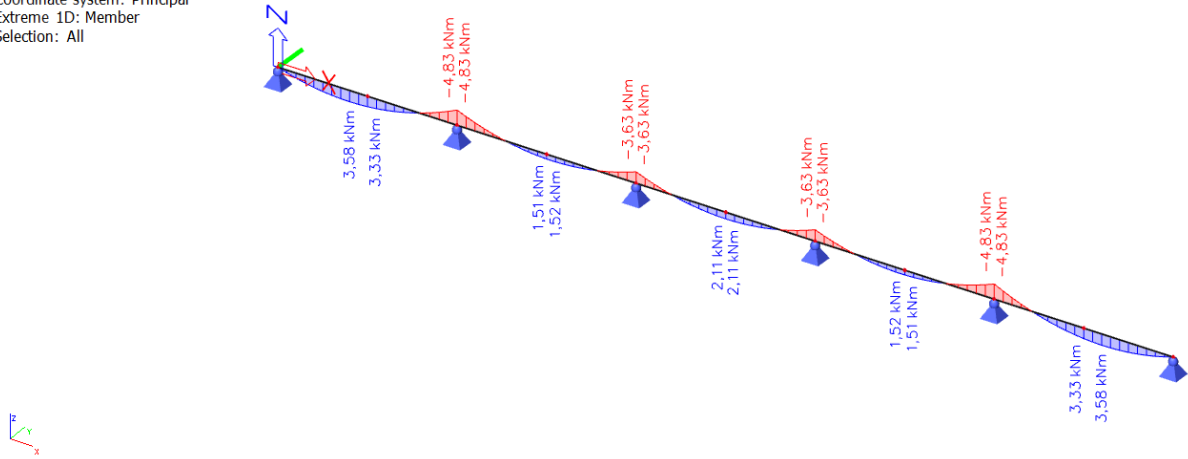
Linear calculation

Load case: Stalna Težina

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

1D internal forces

Values: V_z

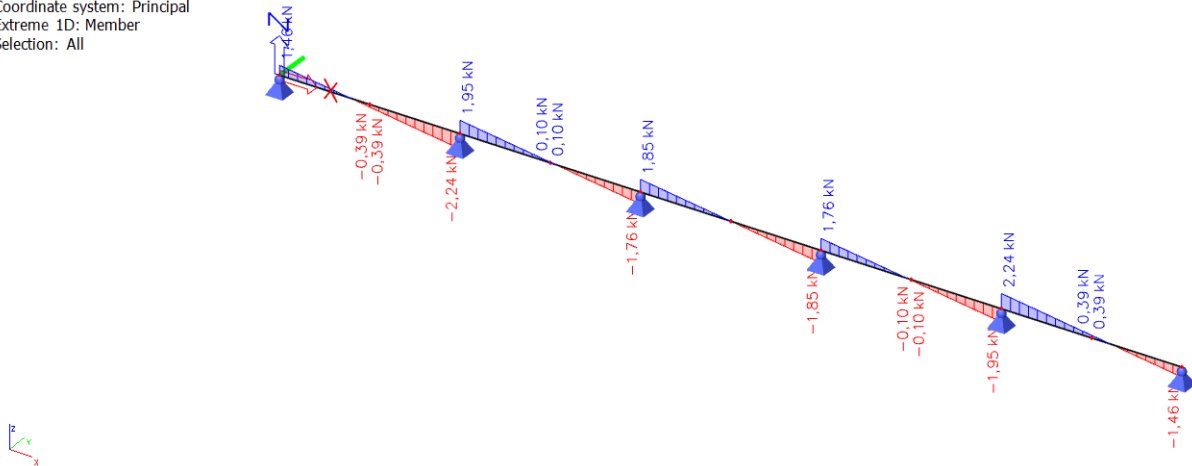
Linear calculation

Load case: Stalna Težina

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



6.1.2.2 Dodatno stalno opterećenje

Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces

Values: M_y

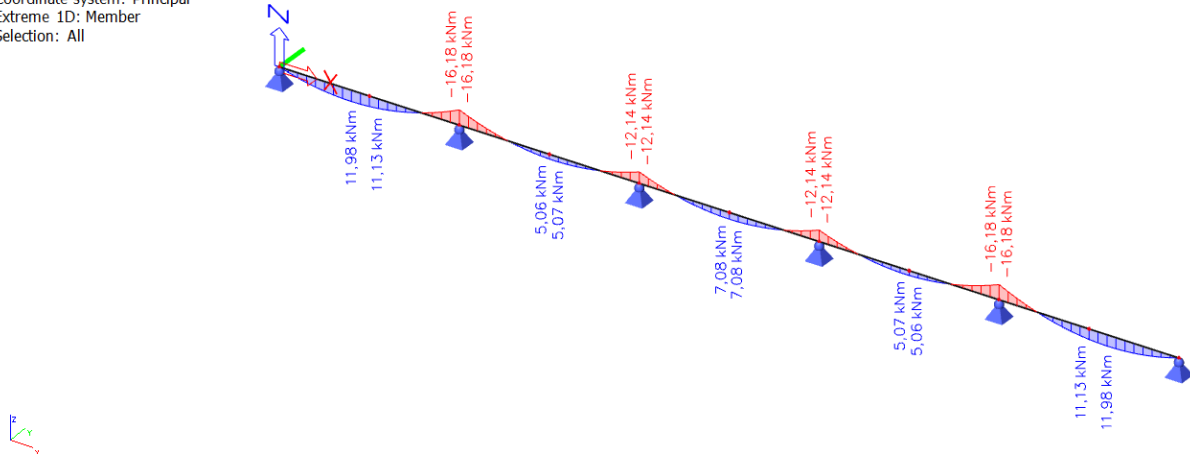
Linear calculation

Load case: Dodatno Stalno

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram momenata savijanja M_z (kNm)

1D internal forces

Values: M_z

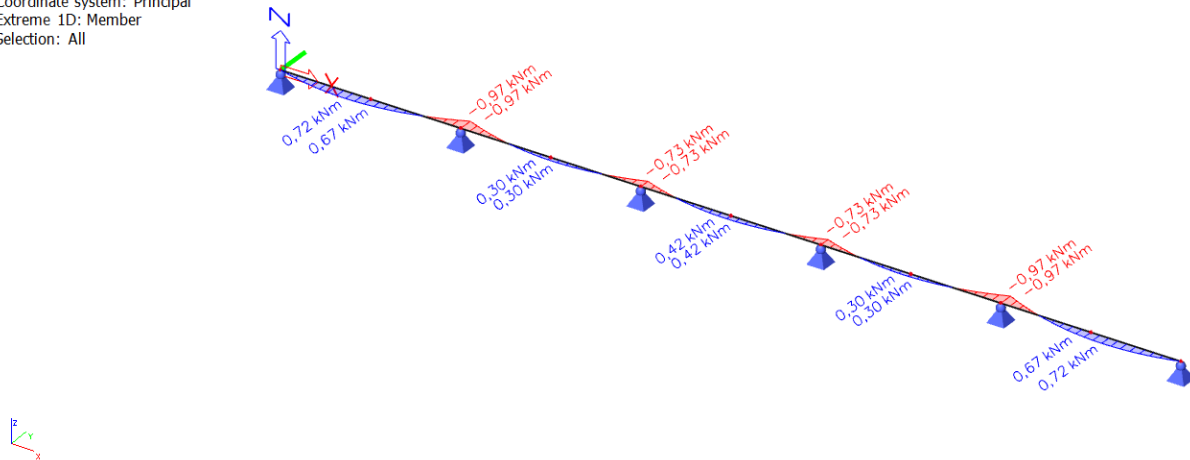
Linear calculation

Load case: Dodatno Stalno

Coordinate system: Principal

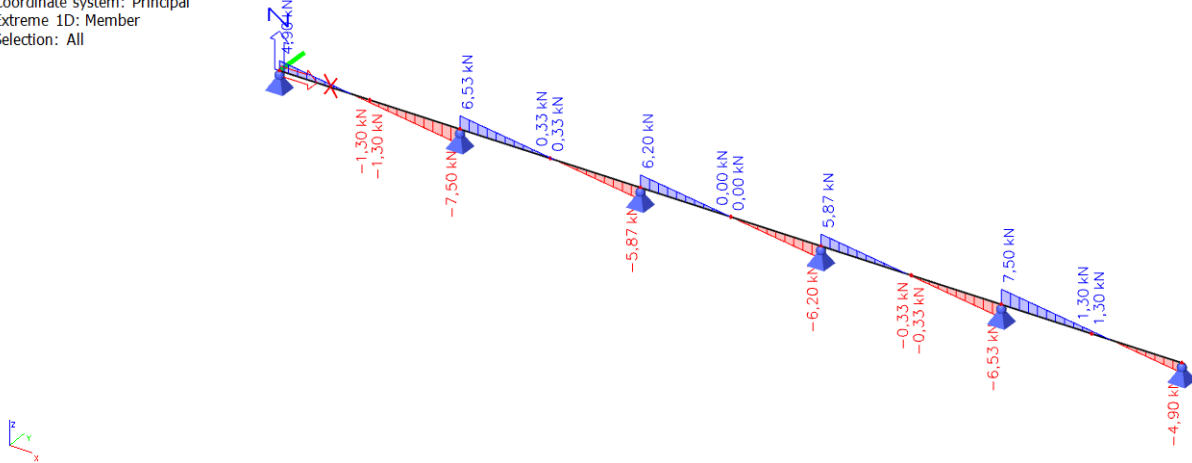
Extreme 1D: Member

Selection: All



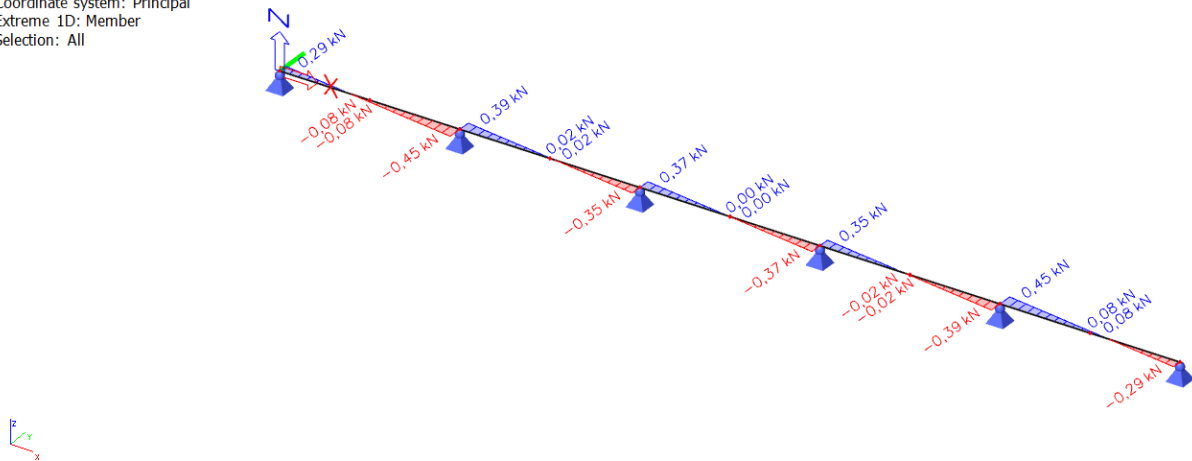
Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Load case: Dodatno Stalno
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_y (kN)

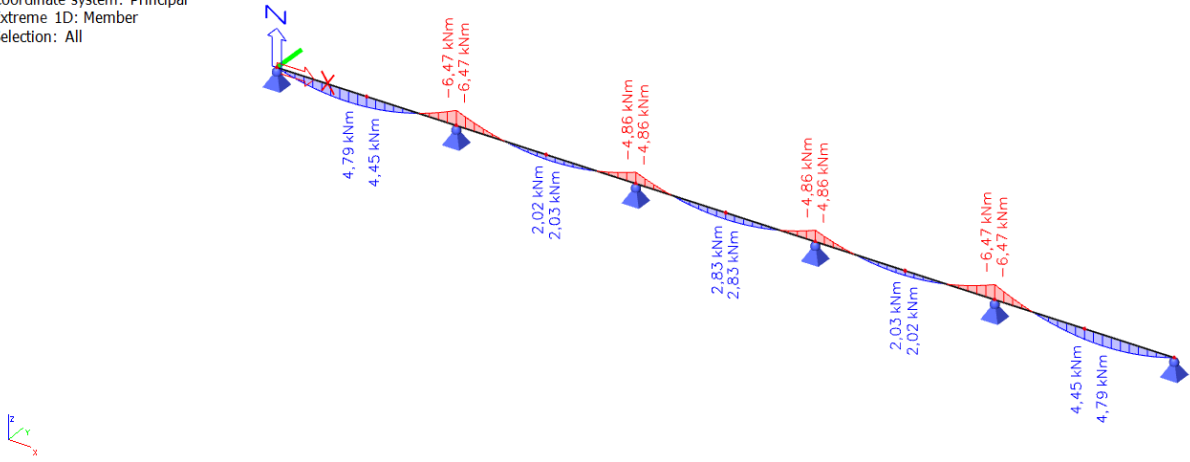
1D internal forces
 Values: V_y
 Linear calculation
 Load case: Dodatno Stalno
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.1.2.3 Opterećenje snijegom

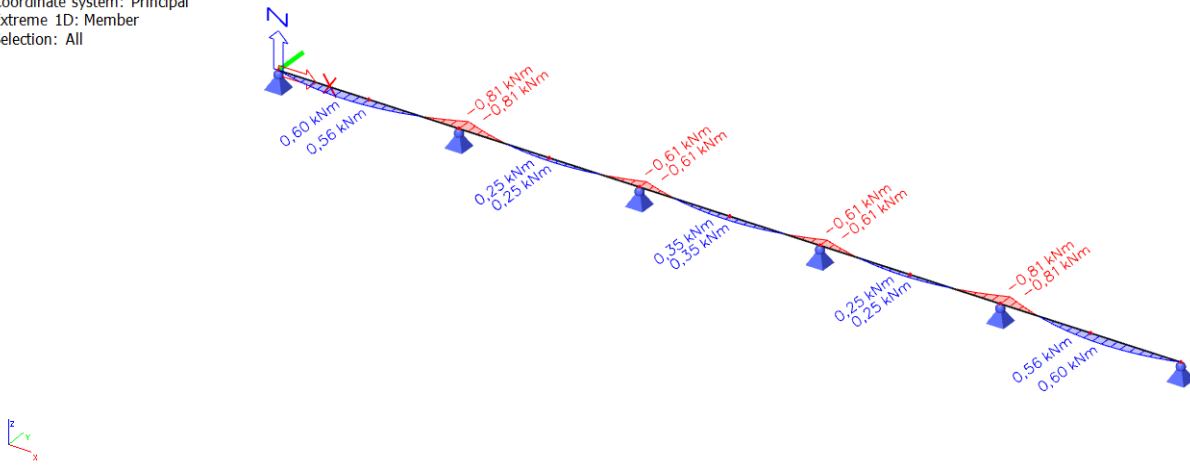
Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Load case: Snijeg Sz
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



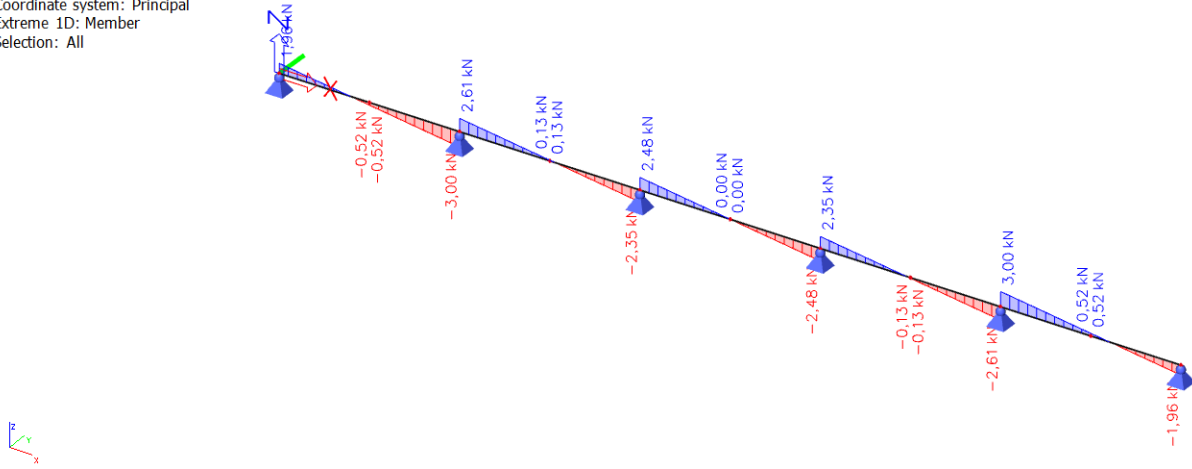
Dijagram momenata savijanja M_z (kNm)

1D internal forces
 Values: M_z
 Linear calculation
 Load case: Snijeg Sx
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



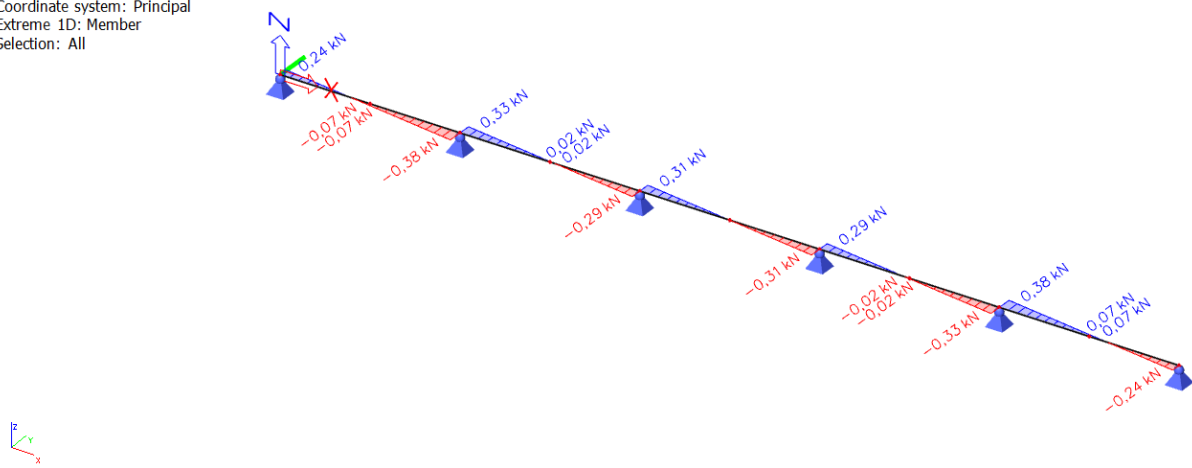
Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Load case: Snijeg Sz
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_y (kN)

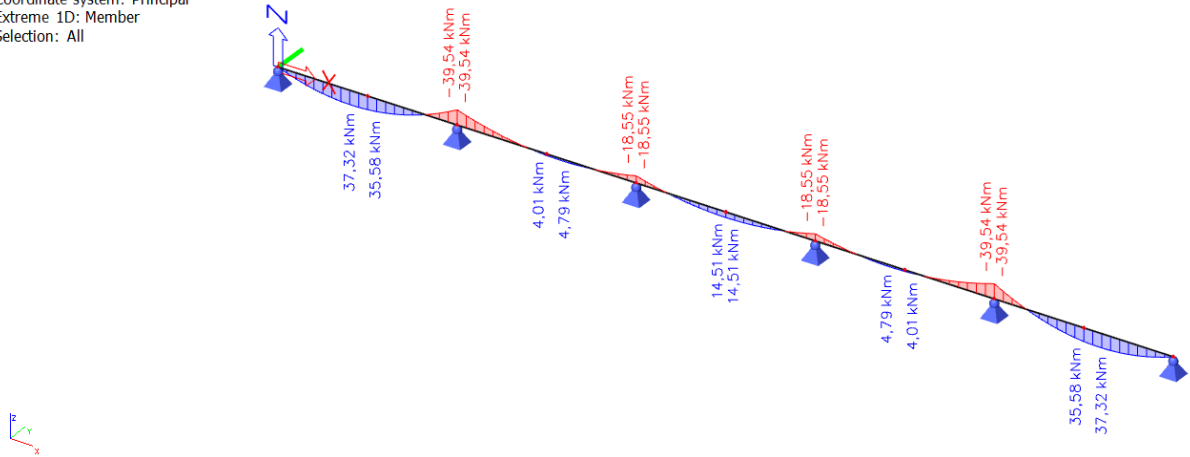
1D internal forces
 Values: V_y
 Linear calculation
 Load case: Snijeg Sx
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.1.2.4 Opterećenje vjetrom W₄

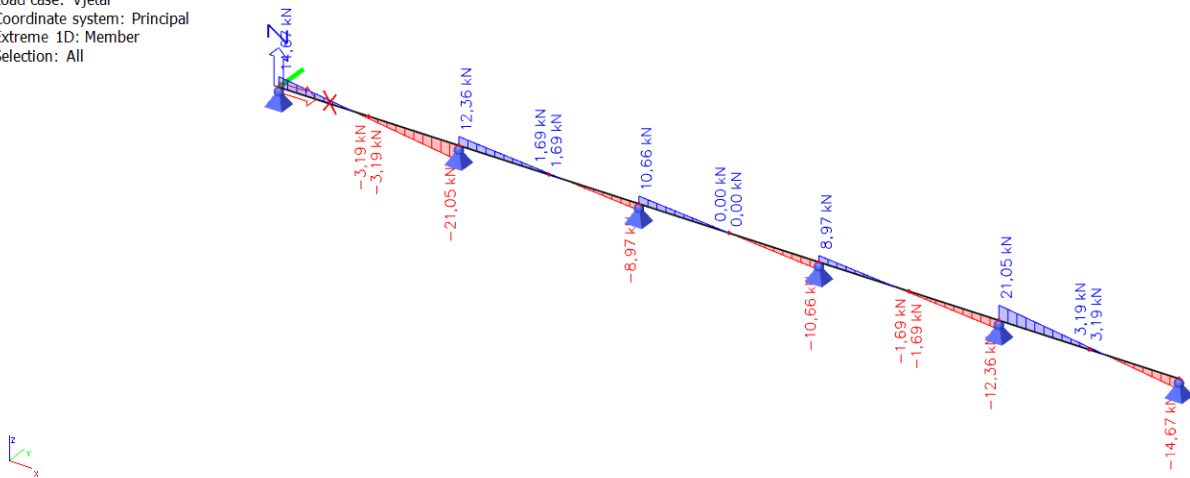
Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Load case: Vjetar
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Load case: Vjetar
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.1.3 Prikaz reznih sila kombinacija (GSN)

Kritična djelujuća kombinacija:

Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_4)$

Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces

Values: M_y

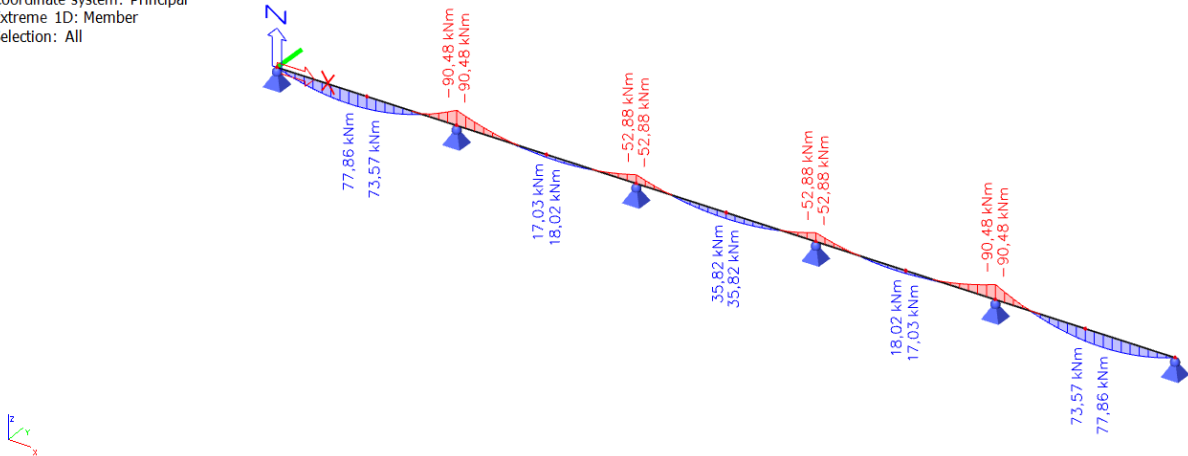
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram momenata savijanja M_z (kNm)

1D internal forces

Values: M_z

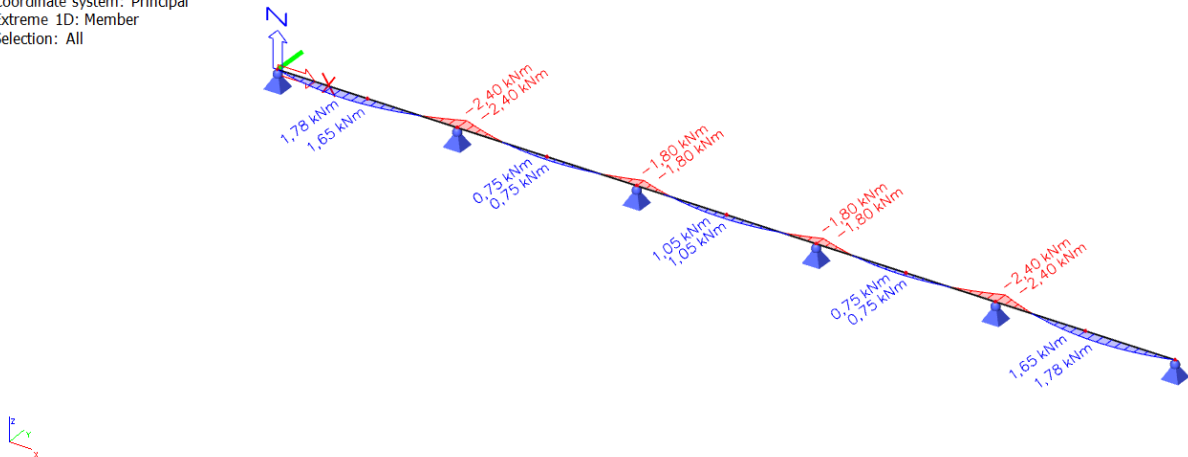
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

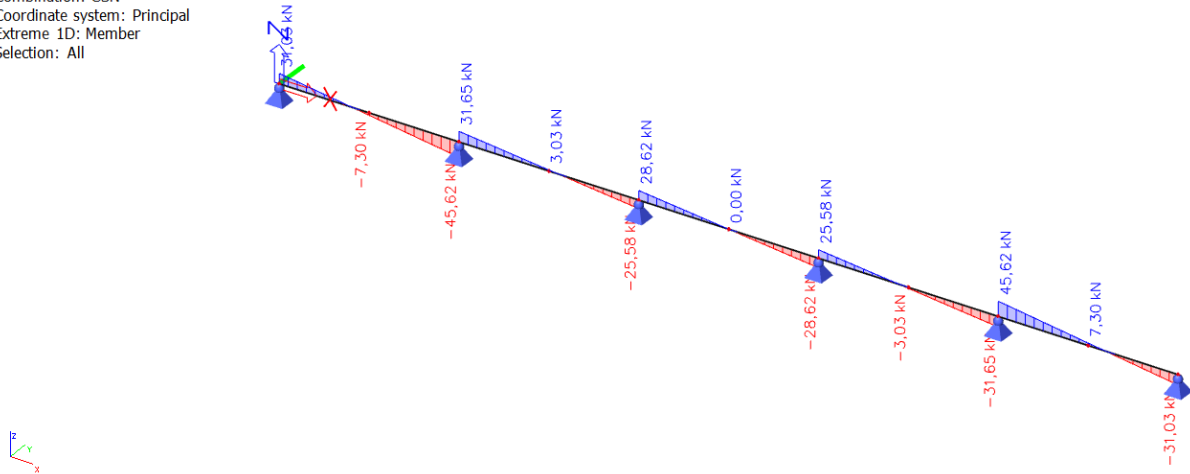
Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

1D internal forces

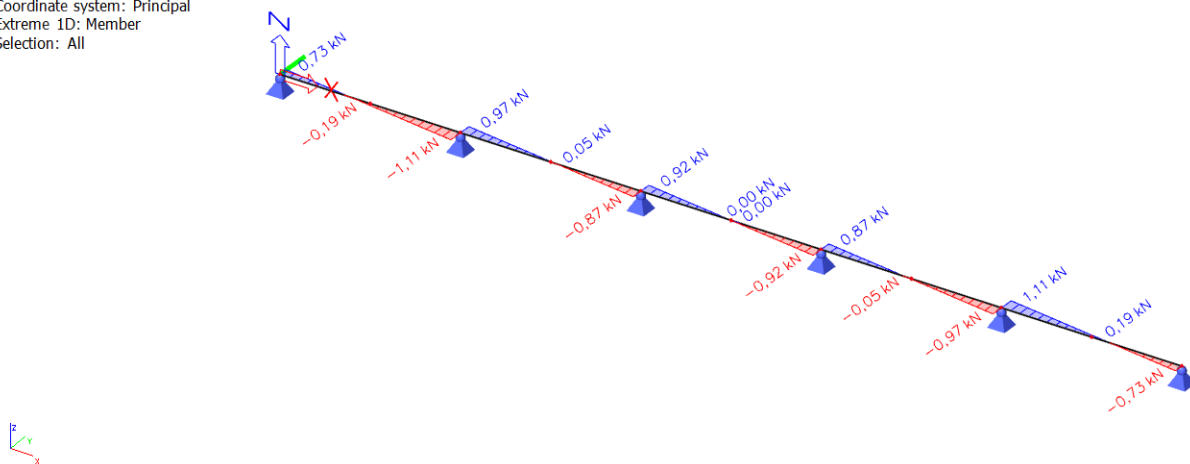
Values: V_z
 Linear calculation
 Combination: GSN
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_y (kN)

1D internal forces

Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: GSN
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.1.4 Dimenzioniranje krovne podrožnice

6.1.4.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

Kritična djelujuća kombinacija:

Kombinacija 1: $1,35 \times (G + dG) + 0,9 \times (1,5 \times S + 1,5 \times W_4)$

Pripadajuće rezne sile u kritičnom presjeku:

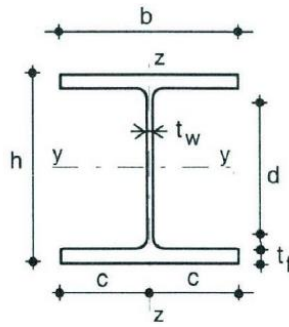
$$M_{y,Ed} = 90,48 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,40 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 1,11 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 45,62 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -36,55 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka**Slika 45. Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		IPE 360
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A (cm ²)		72,70
Moment tromosti	I_y (cm ⁴)	16270,00
	I_z (cm ⁴)	1043,00
Moment otpora	$W_{el,y}$ (cm ³)	904,00
	$W_{pl,y}$ (cm ³)	1019,00
	$W_{el,z}$ (cm ³)	123,00
	$W_{pl,z}$ (cm ³)	191,00
Radijus tromosti	i_y (cm)	15,0
	i_z (cm)	3,8
Konstanta krivljenja	I_w (cm ⁶)	314000,00
Torzijska konstanta	I_t (cm ⁴)	37,3
Visina presjeka h (mm)		360
Širina pojasnice b (mm)		170
Debljina pojasnice t_f (mm)		13
Debljina hrpta t_w (mm)		8
Radijus r (mm)		18

HRBAT

Materijal izrade: S355 $\rightarrow \varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{360 - 2 \cdot 13,0 - 2 \cdot 18,0}{8,0} = \frac{298,0}{8,0} = 37,25$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}}} = \frac{36,55}{2 \cdot 0,8 \cdot \frac{35,5}{1,0}} = 0,64 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{298,0} \cdot \left(\frac{298,0}{2} + 6,40 \right) = 0,521$$

$$\alpha = 0,521 \rightarrow \alpha \geq 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen tlaku i savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{29,8}{0,8} < \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,521 - 1}$$

$$37,25 < 55,56$$

Hrbat zadovoljava uvjet te je svrstan u klasu 1.

POJASNICA

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{170 - 8,0 - 2 \cdot 18,0}{2}}{13,0} = 4,85$$

$$4,85 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

Pojasnica zadovoljava uvjet te je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1. Mjerodavna je uvijek slabija klasa poprečnog presjeka.

6.1.4.2 Otpornost poprečnog presjeka**Otpornost poprečnog presjeka u tlaku**

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0} = 2580,85 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$36,55 \text{ kN} < 2580,85 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju**Savijanje oko osi y-y**

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1019,0 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 36174,5 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,Rd} = 361,75 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$90,48 \text{ kNm} < 361,75 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Savijanje oko osi z-z

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{191,0 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 6780,5 \text{ kNcm}$$

$$M_{z,Rd} = 67,81 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$2,32 \text{ kNm} < 67,81 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{29,8}{0,8} = 37,25$$

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

$$37,25 \leq 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z-z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 29,46 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{očitano iz Scia Engineer; karakteristike poprečnog presjeka}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{29,46 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 603,81 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 603,81 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 45,62 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,y} = 43,05 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{očitano iz Scia Engineer; karakteristike poprečnog presjeka}$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{43,05 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 882,35 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 882,35 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 1,11 \text{ kN}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje):

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2; \beta = 1$$

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

tada nema redukcije otpornosti na savijanje.

Savijanje u smjeru osi y-y

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 603,81 = 301,91 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 45,62 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 301,91 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 361,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{90,48 \text{ kNm}}{361,75 \text{ kNm}} = 0,250 < 1,0$$

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti za uzdužnu silu, nema redukcije otpornosti na savijanje:

$$1) \quad N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$2) \quad N_{Ed} \leq \frac{d \cdot t_w \cdot f_y}{2 \cdot \gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 36,55 < 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2580,85 = 645,06 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 36,55 < \frac{29,8 \cdot 0,8 \cdot 35,5}{2 \cdot 1,0} = 846,32 \text{ kN}$$

Riječ je o niskoj razini.

Savijanje u smjeru osi z-z

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 882,35 = 220,59 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1,11 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 220,59 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,z,Rd} = M_{C,z,Rd} = 67,81 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,V,Rd}} = \frac{2,40 \text{ kNm}}{67,81 \text{ kNm}} = 0,035 < 1,0$$

Riječ je o niskoj razini.

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,V,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0$$

$$(0,250)^2 + (0,035)^1 \leq 1,0$$

$$0,098 \leq 1,0$$

Profil IPE 360 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA KOMBINACIJU DJELOVANJA MOMENTA SAVIJANJA I UZDUŽNE TLAČNE SILE

Uzdužna tlačna otpornost

DOKAZ NOSIVOSTI PREMA χ POSTUPKU

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot N_{c,Rd}$$

os y-y

os z-z

Dužina izvijanja

$$l_{iy} = n = 6,20 \text{ m}$$

$$l_{iz} = n = 6,20 \text{ m}$$

Efektivna vitkost

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{620}{15,0} = 41,33$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{620}{3,80} = 163,16$$

Svedena vitkost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \beta_A^{\frac{1}{2}}$$

os y-y

os z-z

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{35,5}} = 76,41; \beta_A = 1,0$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{41,33}{76,41} \cdot 1,0 = 0,541$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{163,16}{76,41} \cdot 1,0 = 2,135$$

Mjerodavna linija izvijanja

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,12 > 1,2$$

$$t_f = 13,0 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

linija izvijanja a

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,541 - 0,2) + 0,541^2 \right] = 0,682$$

linija izvijanja b

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,135 - 0,2) + 2,135^2 \right] = 3,108$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,682 + \sqrt{0,682^2 - 0,541^2}} = 0,911$$

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

$$\chi_z = \frac{1}{3,108 + \sqrt{3,108^2 - 2,135^2}} = 0,186$$

Mjerodavna je manja vrijednost.

$$\chi = \chi_{\min} = \chi_z = 0,186$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,186 \cdot 72,70 \cdot 35,5}{1,0} = 480,04 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 36,55 \text{ kN}$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$L = 6,20 \text{ m} = 620 \text{ cm} \rightarrow$ razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{30,0}{2} = 15,0 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

Prema dijagramu momenta savijanja:

$$C_1 = 2,578$$

$$C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043,0}{(1,0 \cdot 620,0)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{314000}{1043,0} + \frac{(1,0 \cdot 620,0)^2 \cdot 8077 \cdot 37,3}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043,0}} + (1,554 \cdot 15,0)^2 - 1,554 \cdot 15,0 \right]$$

$$M_{cr} = 20065,18 \text{ kNcm} = 200,65 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Za klasu 1 i 2:

$$W_y = W_{pl,y}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1019,0 \cdot 35,5}{20065,18}} = 1,34 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja ne može se zanemariti.

Faktor redukcije – opći slučaj

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

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,12 > 2,0 \text{ i valjani profil} \rightarrow \text{mjerodavna krivulja izvijanja b}$$

Za krivulju izvijanja b $\rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,34 - 0,2) + 1,34^2] = 1,592$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,592 + \sqrt{1,592^2 - 1,34^2}} = 0,408 \leq 1,0$$

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

Utjecaj bočnog izvijanja ne može se zanemariti.

Faktor redukcije iznosi $\chi_{LT} = 0,408$

Računska otpornost na savijanje

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

$$M_{b,Rd} = \frac{0,408 \cdot 1019,0 \cdot 35,5}{1,0} = 14759,20 \text{ kNcm} = 147,59 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 147,59 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 90,48 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{90,48 \text{ kNm}}{147,59 \text{ kNm}} = 0,613 > 1,0$$

INTERAKCIJA M-N

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

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

Konstruktivski element je bočno pridržan i stoga nije osjetljiv na torzijske deformacije.

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

$$L_{cr,y} = 620 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 16270}{620,0^2} = 8772,50 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{72,70 \cdot 35,5}{8772,50}} = 0,542$$

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

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$L_{cr,z} = n = 620 \text{ cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043,0}{620,0^2} = 526,37 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{72,70 \cdot 35,5}{526,37}} = 2,214$$

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

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = -\frac{77,86}{90,48} = -0,86 \quad \psi = 0$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 + 0,8 \cdot 0,86 = 0,788$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,788$$

$$k_{yy} = 0,788 \cdot \left[1 + (0,542 - 0,2) \cdot \frac{36,55}{0,911 \cdot \frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0}} \right] \leq 0,788 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{36,55}{0,911 \cdot \frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,792 \leq 0,798$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 2,214}{0,788 - 0,25} \cdot \frac{36,55}{0,186 \cdot \frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0}} \right] \leq \left[1 - \frac{0,1}{0,788 - 0,25} \cdot \frac{36,55}{\frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,991 \leq 0,998$$

$$k_{zz} = 0,788 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2,214 - 0,6) \cdot \frac{36,55}{0,186 \cdot \frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0}} \right] \\ \leq 0,788 \cdot \left[1 + 1,4 \cdot \frac{36,55}{0,186 \cdot \frac{72,70 \cdot 35,5}{1,0}} \right]$$

$$k_{zz} = 1,018 > 0,872$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,018 = 0,611$$

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

$$\frac{36,55}{0,911 \cdot (72,70 \cdot 35,5) / 1,0} + 0,792 \cdot \frac{90,48}{0,408 \cdot 361,75 / 1,0} + 0,611 \cdot \frac{2,40}{67,81 / 1,0} = 0,520 \leq 1$$

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

$$\frac{36,55}{0,911 \cdot (72,70 \cdot 35,5) / 1,0} + 0,911 \cdot \frac{90,48}{0,408 \cdot 361,75 / 1,0} + 1,018 \cdot \frac{2,40}{67,81 / 1,0} = 0,610 \leq 1$$

Odabrani profil IPE 360 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 61,0 \%$$

KOMENTAR: Unatoč slaboj iskorištenosti poprečnog presjeka, za ovaj sustav nužno je da poprečni presjeci budu klase 1, stoga ovaj poprečni presjek je optimalan pri kontroli graničnog stanja uporabljivosti i graničnog stanja nosivosti.

6.2 BOČNE PODROŽNICE

Krovne podrožnice dimenzionirane su kao kontinuirani nosač u duljini $10 \times n = 62,0$ m, oslonjene na razmaku svako drugog okvira. Okviri se nalaze na razmaku $n = 6,2$ m.

Bočne podrožnice postavljene su svako $H/4 = 1,30$ m.

Kritična djelujuća kombinacija:

Kombinacija 1: 1,00 x G + 1,5 x W₂

Vjetar W₂ → negativni unutarnji pritisak (c_{pi} = -0,3)

$$W_k = w_k \cdot L \quad [\text{kN/m}'], \quad L = 1,30 \text{ m} \rightarrow \text{razmak između bočnih podrožnica}$$

PODRUČJE	D	E
w _e (kN/m ²)	+0,67	-0,29
w _i (kN/m ²)	-0,29	-0,29
w _k (kN/m ²)	+0,96	±0,00
W_k (kN/m')	+1,25	±0,00

Slika 46. Raspodjela opterećenja vjetrom W₂ po zonama

Pritiskajući vjetar na bočne podrožnice za kritičnu kombinaciju djeluje u zoni D.

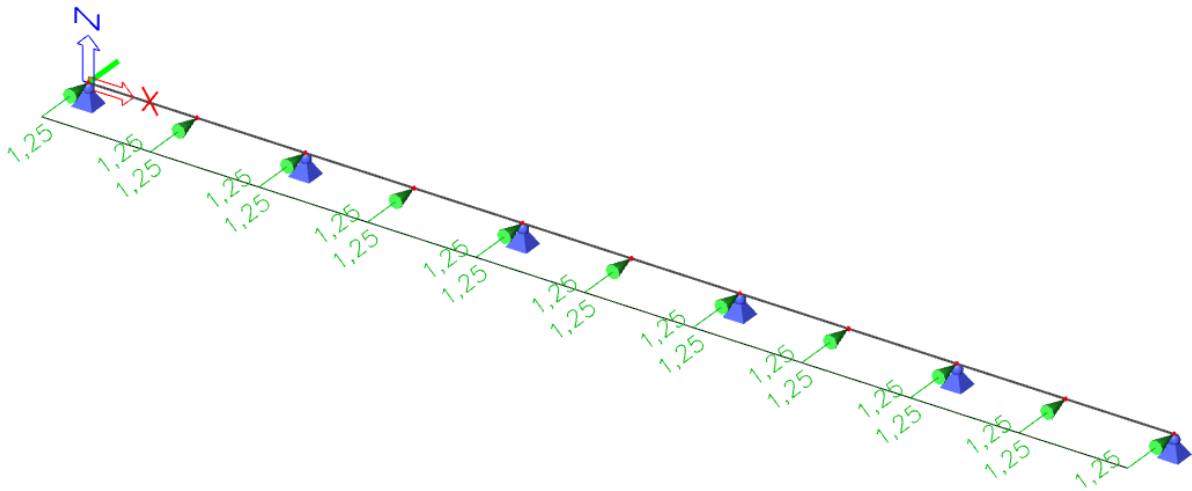
6.2.1 Prikaz opterećenja

6.2.1.1 Vlastita težina

Vlastita težina automatski je uključena u računalnom programu Scia Engineer i nije je potrebno zasebno nanositi.

6.2.1.2 Opterećenje vjetrom W_2

$$W_D = +1,25 \text{ kN/m'}$$



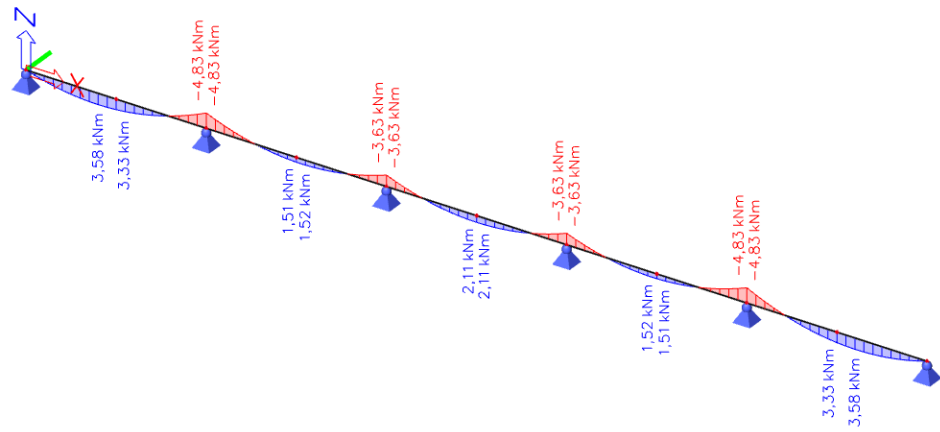
Slika 47. Raspodjela opterećenja vjetrom W_2

6.2.2 Prikaz reznih sila

6.2.2.1 Vlastita težina

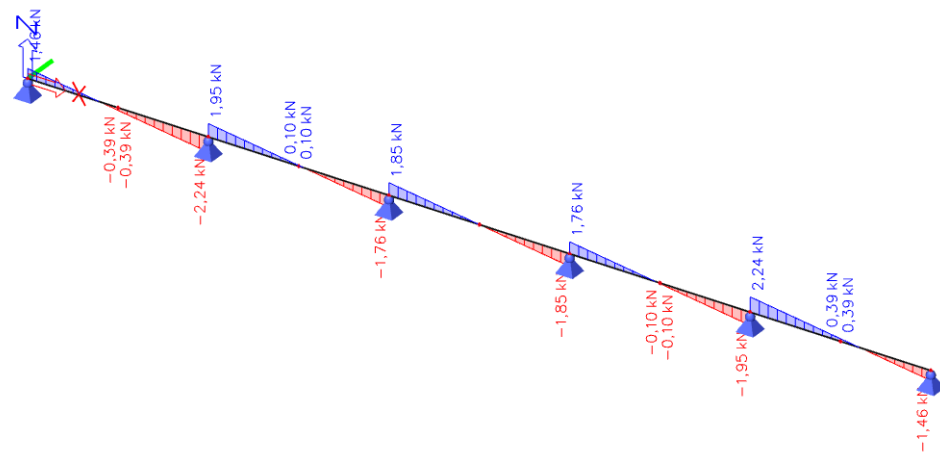
Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Load case: Stalna Težina
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

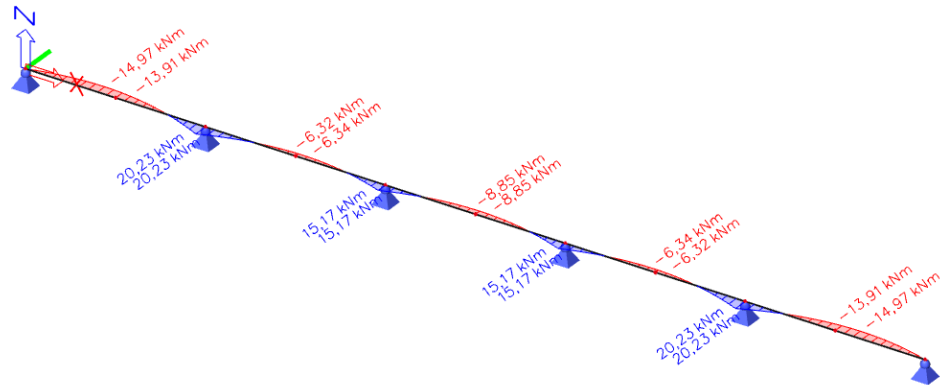
1D internal forces
 Values: V_z
 Linear calculation
 Load case: Stalna Težina
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.2.2.2 Opterećenje vjetrom W₂

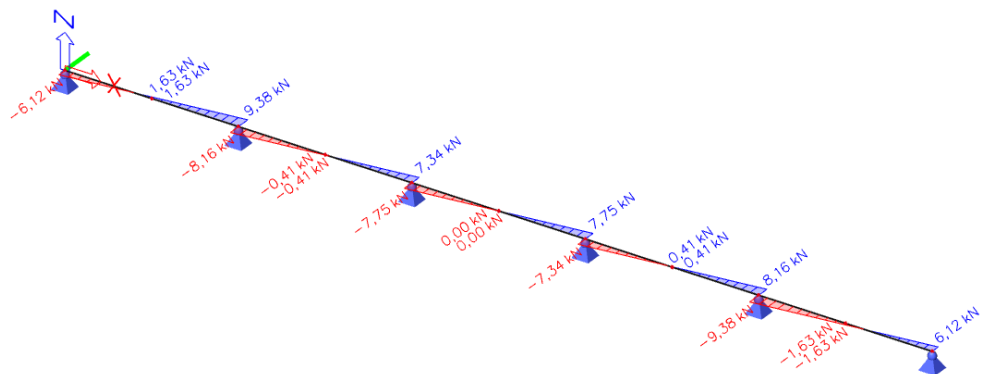
Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces
 Values: M_z
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W2
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

1D internal forces
 Values: V_y
 Linear calculation
 Load case: Vjetar W2
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.2.3 Prikaz reznih sila kombinacija (GSN)

Kritična djelujuća kombinacija:

Kombinacija 1: 1,00 x G + 1,5 x W₂

Dijagram momenata savijanja M_y (kNm)

1D internal forces

Values: M_y

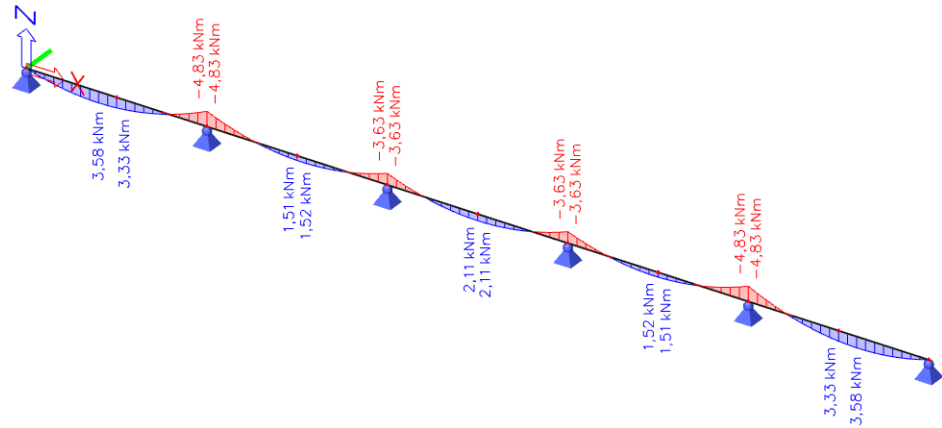
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: All



Dijagram momenata savijanja M_z (kNm)

1D internal forces

Values: M_z

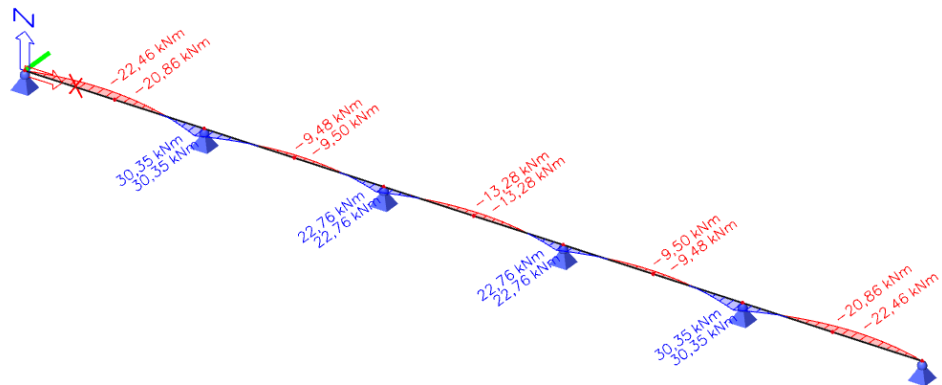
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

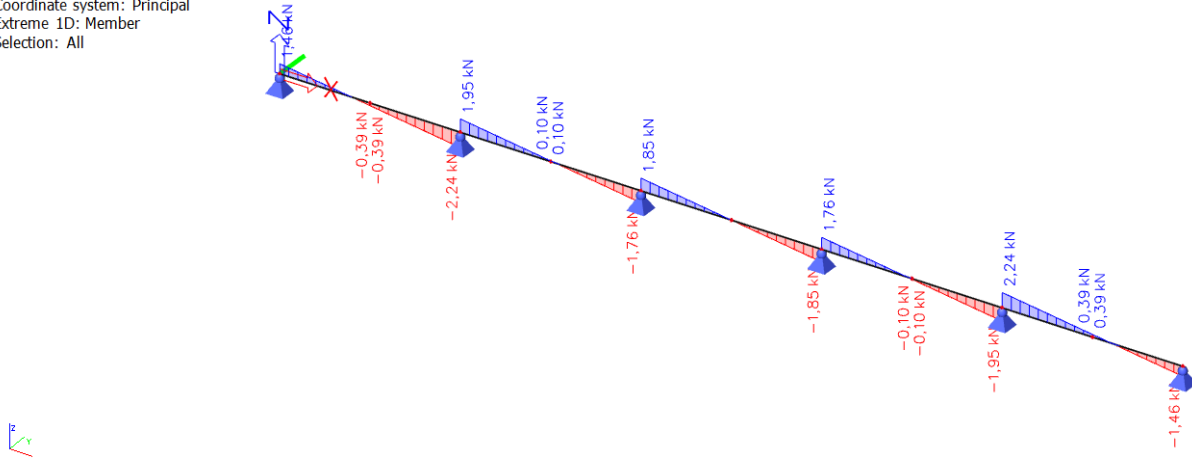
Extreme 1D: Member

Selection: All



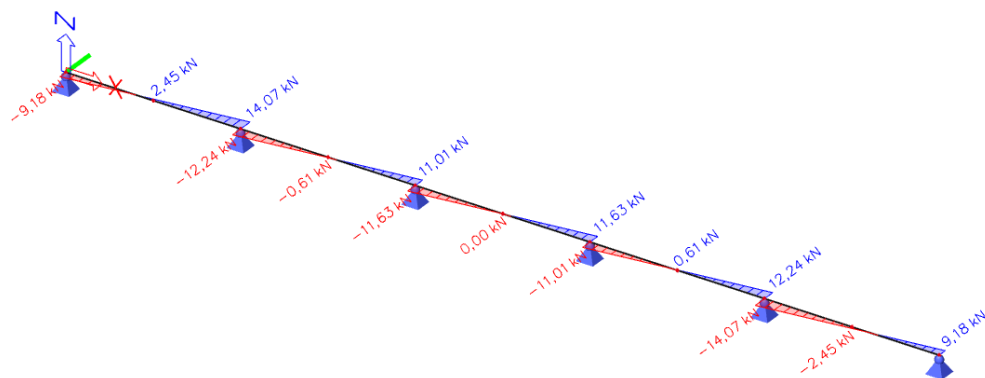
Dijagram poprečnih sila V_z (kN)

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



Dijagram poprečnih sila V_y (kN)

1D internal forces
 Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: GSN
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



6.2.4 Dimenzioniranje bočne podrožnice

6.2.4.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

Kritična djelujuća kombinacija:

Kombinacija 1: 1,0 x G + 1,5 x W₂

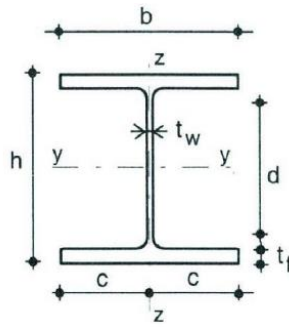
Pripadajuće rezne sile u kritičnom presjeku:

$$M_{y,Ed} = 4,83 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 30,85 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 14,07 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 2,24 \text{ kN}$$

Karakteristike poprečnog presjeka**Slika 48. Karakteristike poprečnog presjeka**

Odabrani profil		HEA 160
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A (cm ²)		38,80
Moment tromosti	I_y (cm ⁴)	1670,00
	I_z (cm ⁴)	616,00
Moment otpora	$W_{el,y}$ (cm ³)	220,00
	$W_{pl,y}$ (cm ³)	245,00
	$W_{el,z}$ (cm ³)	77,00
	$W_{pl,z}$ (cm ³)	117,50
Radijus tromosti	i_y (cm)	6,60
	i_z (cm)	4,00
Konstanta krivljenja	I_w (cm ⁶)	31410,00
Torzijska konstanta	I_t (cm ⁴)	12,20
Visina presjeka h (mm)		152
Širina pojasnice b (mm)		160
Debljina pojasnice t_f (mm)		9
Debljina hrpta t_w (mm)		6
Radijus r (mm)		15

HRBAT

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 152,0 - 2 \cdot 9,0 - 2 \cdot 15,0 = 104,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu presjeka I (hrbat izložen savijanju):

$$\frac{d}{t_w} < 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{10,4}{0,6} < 33 \cdot 0,81$$

$$17,33 < 26,73$$

Hrbat zadovoljava uvjet te je svrstan u klasu 1.

POJASNICA

Materijal izrade: S355 → $\varepsilon = 0,81$

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{160 - 6,0 - 2 \cdot 15,0}{2}}{9,0} = 6,89$$

$$6,89 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

Pojasnica zadovoljava uvjet te je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1. Mjerodavna je uvijek slabija klasa poprečnog presjeka.

6.2.4.2 Otpornost poprečnog presjeka**Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju****Savijanje oko osi y-y**

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{245,0 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 8697,5 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,Rd} = 86,98 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$4,83 \text{ kNm} < 86,98 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Savijanje oko osi z-z

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{117,5 \text{ cm}^3 \cdot 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 4171,25 \text{ kNcm}$$

$$M_{z,Rd} = 41,71 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$30,85 \text{ kNm} < 41,71 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava.

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{10,4}{0,6} = 17,33$$

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

$$17,33 \leq 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z-z

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$A_{v,z} = 9,84 \text{ cm}^2 \rightarrow$ očitano iz Scia Engineer; karakteristike poprečnog presjeka

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{9,84 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 349,32 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 349,32 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 2,24 \text{ kN}$$

U smjeru osi y-y

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

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

$A_{v,y} = 28,07 \text{ cm}^2 \rightarrow$ očitano iz Scia Engineer; karakteristike poprečnog presjeka

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{28,07 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 575,32 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 575,32 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 14,07 \text{ kN}$$

Interakcija M_y i M_z (dvoosno savijanje):

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2; \beta = 1$$

Ako je ispunjen uvjet poprečne sile

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

tada nema redukcije otpornosti na savijanje.

Savijanje u smjeru osi y-y

$$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 349,32 = 174,66 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 2,24 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 174,66 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 86,98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{4,83 \text{ kNm}}{86,98 \text{ kNm}} = 0,055 < 1,0$$

Savijanje u smjeru osi z-z

$$0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0,5 \cdot 575,32 = 287,66 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 14,07 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 287,66 \text{ kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$$M_{N,V,z,Rd} = M_{C,z,Rd} = 41,71 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,V,Rd}} = \frac{30,85 \text{ kNm}}{41,71 \text{ kNm}} = 0,740 < 1,0$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,V,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0$$

$$(0,055)^2 + (0,740)^1 \leq 1,0$$

$$0,743 \leq 1,0$$

Profil HEA 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$L = 6,20 \text{ m} = 620 \text{ cm} \rightarrow$ razmak točaka bočnog pridržanja

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{15,2}{2} = 7,6 \text{ cm}$$

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

$$k = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

Prema dijagramu momenta savijanja:

$$C_1 = 2,578$$

$$C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 616,0}{(1,0 \cdot 620)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0} \right)^2 \cdot \frac{31410,0}{616,0} + \frac{(1,0 \cdot 620)^2 \cdot 8077 \cdot 38,80}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 616,0}} + (1,554 \cdot 7,6)^2 - 1,554 \cdot 7,6 \right]$$

$$M_{cr} = 5959,33 \text{ kNcm} = 59,59 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Za klasu 1 i 2:

$$W_y = W_{pl,y}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{245,0 \cdot 35,5}{5959,33}} = 1,21 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Utjecaj bočnog izvijanja ne može se zanemariti.

Faktor redukcije – opći slučaj

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

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

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

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 2,0 \text{ i valjani profil} \rightarrow \text{mjerodavna krivulja izvijanja a}$$

Za krivulju izvijanja a $\rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,21 - 0,2) + 1,21^2] = 1,338$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,338 + \sqrt{1,338^2 - 1,21^2}} = 0,524 \leq 1,0$$

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

Utjecaj bočnog izvijanja ne može se zanemariti.

Faktor redukcije iznosi $\chi_{LT} = 0,524$

Računska otpornost na savijanje

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

$$M_{b,Rd} = \frac{0,524 \cdot 245,0 \cdot 35,5}{1,0} = 4557,49 \text{ kNcm} = 45,57 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 45,57 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 4,83 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{4,83 \text{ kNm}}{45,57 \text{ kNm}} = 0,106 > 1,0$$

Odabrani profil HEA160 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 74,30 \%$$

KOMENTAR: Iskorištenost poprečnog presjeka je zadovoljavajuća. Za ovaj sustav nužno je da poprečni presjeci budu klase 1, stoga ovaj poprečni presjek je optimalan pri kontroli graničnog stanja uporabljivosti i graničnog stanja nosivosti.

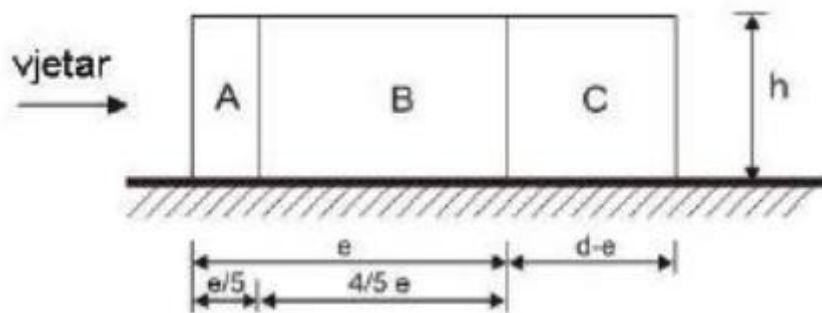
7 DIMENZIONIRANJE SPREGOVA KONSTRUKCIJE

7.1 KROVNI SPREGOVI

Krovni spregovi dimenzionirani su kao slobodno oslonjeni rešetkasti sustav polja između glavnih nosača.

Promatran je cijeli raspon konstrukcije.

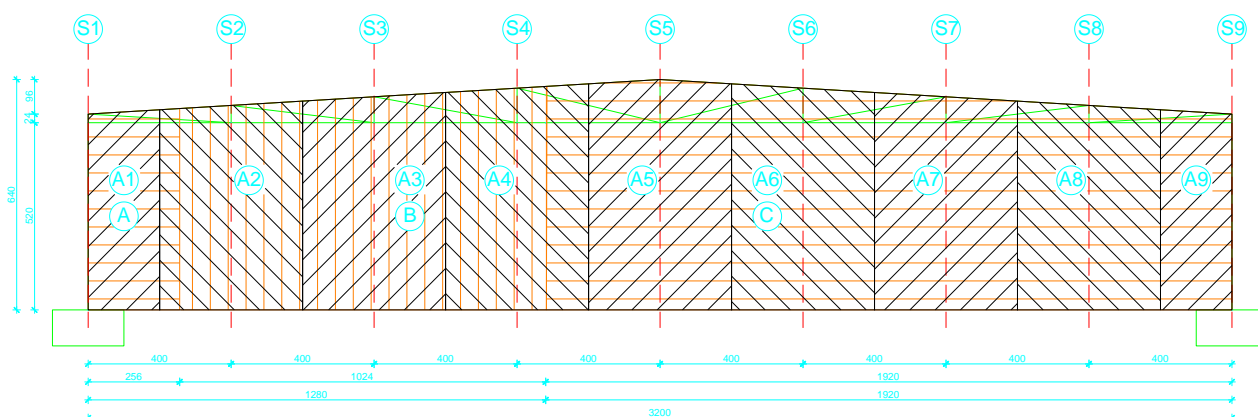
Opterećenje vjetrom W_1



Slika 49. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove - bočni pogled

PODRUČJE	A	B	C
w_e (kN/m ²)	-1,15	-0,77	-0,48
w_i (kN/m ²)	+0,19	+0,19	+0,19
w_k (kN/m ²)	-1,34	-0,96	-0,67

Slika 50. Raspodjela opterećenja vjetrom W_1 po zonama



Slika 51. Prikaz područja djelovanja na zabat

Utjecajne širine djelovanja:

$A_1 = 11,00 \text{ m}^2$	$A_6 = 24,64 \text{ m}^2$
$A_2 = 22,72 \text{ m}^2$	$A_7 = 23,68 \text{ m}^2$
$A_3 = 23,68 \text{ m}^2$	$A_8 = 22,72 \text{ m}^2$
$A_4 = 24,64 \text{ m}^2$	$A_9 = 11,00 \text{ m}^2$
$A_5 = 25,36 \text{ m}^2$	

Pripadajuće sile u čvorovima.

$$S_1 = 1,34 \cdot 11,00 = 14,74 \text{ kN}$$

$$S_2 = 0,96 \cdot 22,72 = 21,81 \text{ kN}$$

$$S_3 = 0,96 \cdot 23,86 = 22,91 \text{ kN}$$

$$S_4 = \frac{0,96 + 0,67}{2} \cdot 24,64 = 20,08 \text{ kN}$$

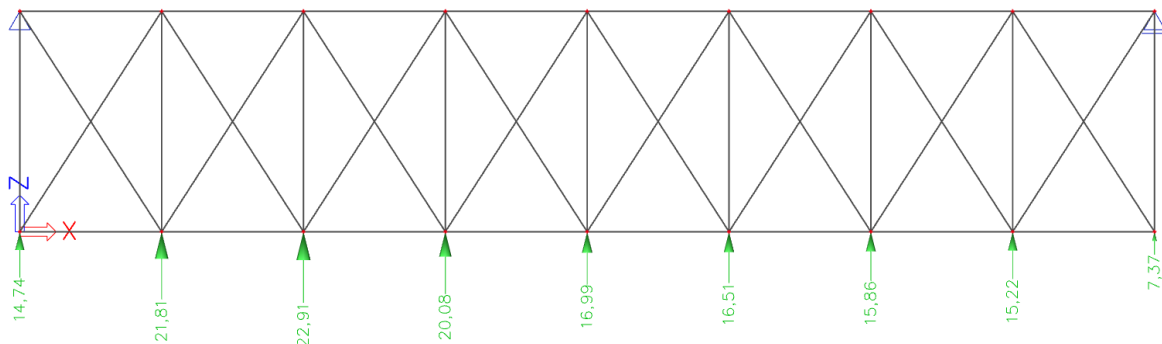
$$S_5 = 0,67 \cdot 25,36 = 16,99 \text{ kN}$$

$$S_6 = 0,67 \cdot 24,64 = 16,51 \text{ kN}$$

$$S_7 = 0,67 \cdot 23,68 = 15,86 \text{ kN}$$

$$S_8 = 0,67 \cdot 22,72 = 15,22 \text{ kN}$$

$$S_9 = 0,67 \cdot 11,00 = 7,37 \text{ kN}$$

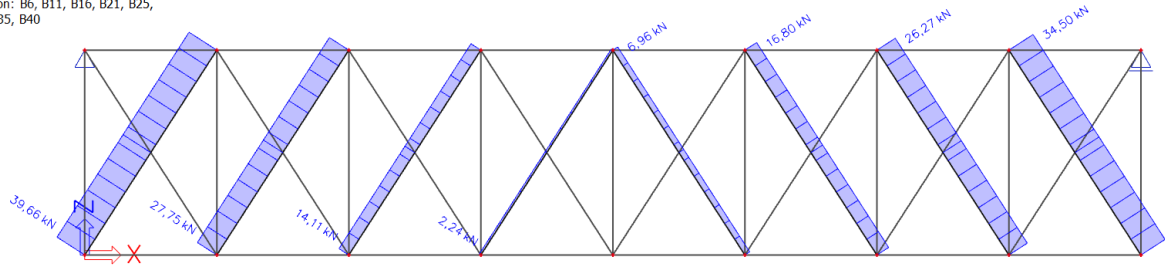


Slika 52. Prikaz modela s pripadajućem opterećenjem vjetra

7.1.1 Prikaz reznih sila krovnih spregova

Dijagram uzdužnih sila N (kN)

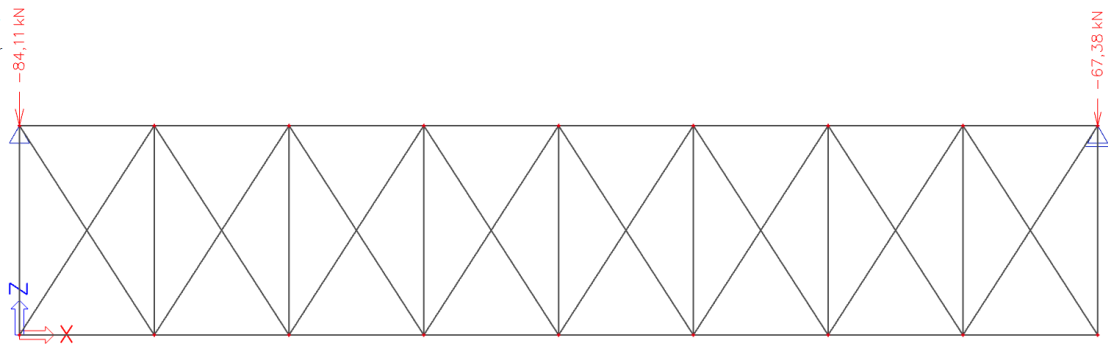
1D internal forces
 Values: N
 Linear calculation
 Load case: Vjetar
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: B6, B11, B16, B21, B25,
 B30, B35, B40



Slika 53. Prikaz vlačnih sila u krovnim spregovima

Reakcije modela

Reactions
 Values: R_z
 Linear calculation
 Load case: Vjetar
 System: Global
 Extreme: Member
 Selection: All



Maksimalna vlačna sila:

$$N_{Ed} = 38,66 \text{ kN}$$

7.1.2 Dimenzioniranje krovnih spregova

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} \geq \frac{1,0 \cdot 38,66}{35,5} \geq 1,089 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1,089}{\pi}} \geq 1,18 \text{ cm}$$

Odabrana dimenzija krovnog sprega: $\Phi 16$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,01 \cdot 35,5}{1,0} = 71,35 \text{ kN} > N_{Ed} = 38,66 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{38,66 \text{ kN}}{71,35 \text{ kN}} = 0,542 < 1,0$$

Odabrani profil $\Phi 16$ zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 54,20 \%$$

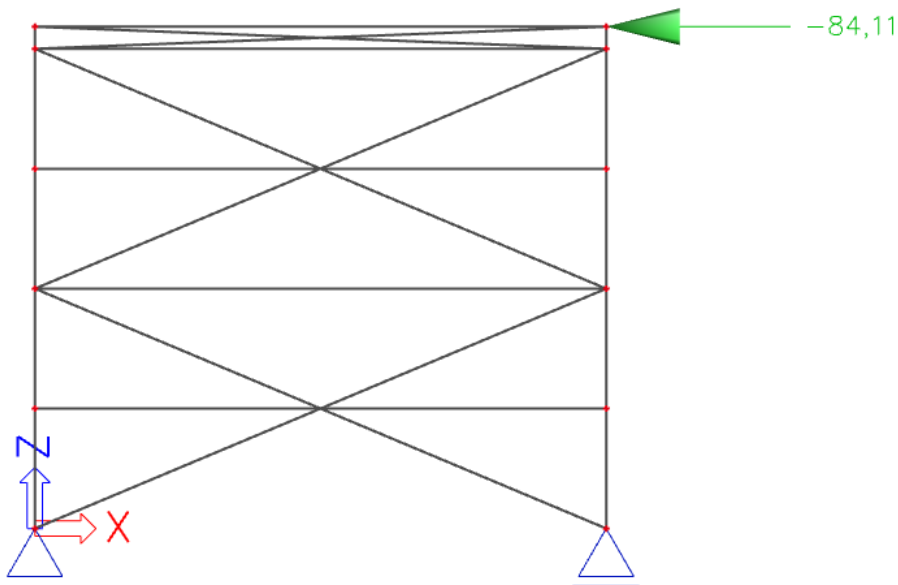
7.2 BOČNI SPREGOVI

Bočni spregovi dimenzionirani su kao slobodno oslonjeni rešetkasti sustav polja između glavnih nosača.

Reakcija dobivena iz podrožnice modela krovnog sprega (model pod stavkom 7.1.1) prenosi se u bočnu konstrukciju.

Reakcija koja se prenosi u bočnu konstrukciju:

$$F = 84,11 \text{ kN}$$

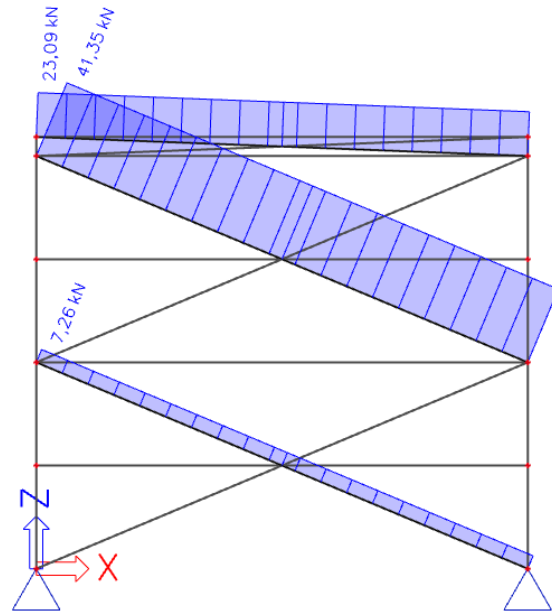


Slika 54. Prikaz modela s pripadajućem opterećenjem

7.2.1 Prikaz reznih sila

Dijagram uzdužnih sila N (kN)

1D internal forces
Values: **N**
Linear calculation
Load case: Vjetar
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: B10, B12, B27



Slika 55. Prikaz vlačnih sila u bočnim spregovima

Maksimalna vlačna sila:

$$N_{Ed} = 41,35 \text{ kN}$$

7.2.2 Dimenzioniranje krovnih spregova

Preliminarni odabir dimenzija:

$$N_{Ed} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{Ed}}{f_y} \geq \frac{1,0 \cdot 41,35}{35,5} \geq 1,165 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1,165}{\pi}} \geq 1,22 \text{ cm}$$

Odabrana dimenzija krovnog sprega: $\Phi 16$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,01 \cdot 35,5}{1,0} = 71,35 \text{ kN} > N_{Ed} = 41,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{41,35 \text{ kN}}{71,35 \text{ kN}} = 0,580 < 1,0$$

Odabrani profil $\Phi 16$ zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti

$$\eta = 58,0 \%$$

8 PRORAČUN SPOJEVA

8.1 DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP - TEMELJ

Potrebno je izvršiti proračun spoja stup-temelj. Spoj je promatran kao upet. Također potrebno je odrediti dimenzije i debljinu ploče, potreban broj i promjer vijaka, te dimenzije vara.

Pripadajuće rezne sile u presjeku za mjerodavnu kombinaciju:

$$M_{y,Ed} = 173,04 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 85,70 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -205,18 \text{ kN}$$

Materijal

Osnovni materijal: FE-510(S355)

Vijci: M-27; k.v. 8.8 ($f_{yb} = 800 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 640 \text{ N/mm}^2$)

Geometrija poprečnog presjeka

Profil HEA 340

Visina presjeka h (mm)	330
Širina pojasnice b (mm)	300
Debljina pojasnice t_f (mm)	17
Debljina hrpta t_w (mm)	10

8.1.1 Raspodjela sila po presjeku

Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^* M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{173,04}{(0,330 - 0,017)} = 552,84 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{30 \cdot 1,7}{134} \cdot 205,18 = -78,09 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^* M + N_p^N = 552,84 - 78,09 = 474,75 \text{ kN} = F_{w,Sd}$$

8.1.2 Kontrola varova

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b$$

$$l \approx 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot d$$

$$l \approx 2 \cdot 242 = 484 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a = 7,0 \text{ mm}$:

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{229}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 1099,2 \text{ kN} > F_{w,Sd} = N_p = 474,75 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{229}{1,25} \cdot \frac{484}{100} = 886,69 \text{ kN} > V_{Sd} = 85,70 \text{ kN}$$

8.1.3 Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M-27 udaljenost c_{\min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 27 + 7 \cdot \sqrt{2} = 63,9 \text{ mm}$$

Usvojeno: $c = 70 \text{ mm}$

$$\text{Ekscentricitet uzdužne sile } e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{173,04}{205,18} = 0,84 \text{ m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 70 + 330 - 8,5 = 0,39 \text{ m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 840 - 330/2 + 8,5 = 0,69 \text{ m}$$

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,sd} = N_{sd} \cdot \frac{x_2}{x_1}$$

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,sd} = N_{sd} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 205,18 \cdot \frac{0,69}{0,39} = 363,01 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{330,5}{1,25} = 264,4 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{363,01}{2} = 181,51 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{220,3}{1,25} = 176,24 \text{ kN} \geq F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{85,70}{4} = 21,43 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{21,43}{176,24} + \frac{181,51}{1,4 \cdot 264,4} = 0,61 \leq 1,0$$

8.1.4 Proračun ploče

Proračun dimenzije ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 330 + 2 \cdot (70 + 70) = 610 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339,8 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 90 + 2 \cdot 55 = 200 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 610 x 400 mm

8.1.5 Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{85,70}{4} = 21,43 \text{ kN} = F_{b,sd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{258,2}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = 21,48 \text{ kN} \rightarrow t_{pl}^{\min} = 1,04 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = (610 - 330 + 10)/2 = 145 \text{ mm} = 14,5 \text{ cm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 192,75 + 205,18 = 397,93 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{397,93}{\frac{3 \cdot 14,5 \cdot 34}{2}} = 0,54 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{1,4}{1,5} = 0,93 \text{ kN/cm}^2$$

Savijanje ploče

$$M_{Ed} = F1 \cdot \frac{s}{2} + F2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 5400 \cdot 0,145 \cdot 0,34 \cdot \frac{0,145}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 5400 \cdot 0,145 \cdot 0,34}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,145 = 17,16 \text{ kNm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,sd} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 363,01 \cdot 0,1505 = 54,63 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1}$$

$$W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b \cdot t_{pl}^{\min 2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 5463 \cdot 6}{40 \cdot 35,5}} = 5,04 \text{ cm}$$

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a proračun uvjet nije zadovoljen. Kako bi dobili debljinu veću ili jednaku 4 cm, povećat će se dimenzija pločice.

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

$$b_{pl} > \frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{t_{pl}^{\max 2} \cdot f_y} = \frac{1,1 \cdot 5463 \cdot 6}{4,0^2 \cdot 35,5} = 63,48 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploča su 610 x 640 x 40 mm

8.2 DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP - REŠETKA

Potrebno je izvršiti proračun spoja stup-rešetka. Spoj je promatran kao upet zbog širine objekta koja iznosi 32,0 m. Rezne sile u stupove prenose se preko gornjih i donjih pojasnica te rubnih vertikalna. Također potrebno je odrediti dimenzije i debljinu ploče, potreban broj i promjer vijaka, te dimenzije vara.

Pripadajuće rezne sile u presjeku za mjerodavnu kombinaciju:

$$M_{y,Ed} = 282,51 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 85,70 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -115,05 \text{ kN}$$

Materijal

Osnovni materijal: FE-510 (S355)

Vijci: M-36; k.v. 8.8 ($f_{yb} = 800 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 640 \text{ N/mm}^2$)

Geometrija poprečnog presjeka

Profil HEA 340

Visina presjeka h (mm)	330
Širina pojasnice b (mm)	300
Debljina pojasnice t_f (mm)	17
Debljina hrpta t_w (mm)	10

8.2.1 Raspodjela sila po presjeku

Pojasnice

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:

$$N_p^* M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{282,51}{(0,330 - 0,017)} = 902,59 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{30 \cdot 1,7}{134} \cdot 115,05 = 43,79 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^* M + N_p^N = 902,59 + 43,79 = 946,38 \text{ kN} = F_{w,Sd}$$

8.2.2 Kontrola varova

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b$$

$$l \approx 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot d$$

$$l \approx 2 \cdot 242 = 484 \text{ mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a = 7,0 \text{ mm}$:

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{229}{1,25} \cdot \frac{600}{100} = 1099,2 \text{ kN} > F_{w,Sd} = N_p = 946,38 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{229}{1,25} \cdot \frac{484}{100} = 886,69 \text{ kN} > V_{Sd} = 85,70 \text{ kN}$$

8.2.3 Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M-36 udaljenost c_{\min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 36 + 7 \cdot \sqrt{2} = 81,9 \text{ mm}$$

Usvojeno: $c = 90 \text{ mm}$

$$\text{Ekscentricitet uzdužne sile } e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{282,51}{115,05} = 2,46 \text{ m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_1 = 90 + 330 - 8,5 = 0,41 \text{ m}$$

$$\text{Ekscentricitet } x_2 = 2460 - 330/2 + 8,5 = 2,31 \text{ m}$$

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,sd} = N_{sd} \cdot \frac{x_2}{x_1}$$

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,sd} = N_{sd} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 115,05 \cdot \frac{2,31}{0,41} = 648,21 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{588,2}{1,25} = 470,56 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{648,21}{2} = 324,10 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{392,2}{1,25} = 313,76 \text{ kN} \geq F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{85,70}{4} = 21,43 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{21,43}{313,76} + \frac{324,1}{1,4 \cdot 470,56} = 0,56 \leq 1,0$$

8.2.4 Proračun ploče

Proračun dimenzije ploče

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 330 + 2 \cdot (90 + 90) = 690 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339,8 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 120 + 2 \cdot 70 = 260 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 690 x 400 mm

8.2.5 Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{85,70}{4} = 21,43 \text{ kN} = F_{b,sd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{353,1}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = 21,47 \rightarrow t_{pl}^{\min} = 0,76 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,s} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 648,21 \cdot 0,1505 = 97,56 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1}$$

$$W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b \cdot t_{pl}^{\min 2}}{6} \rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 9756 \cdot 6}{40 \cdot 35,5}} = 6,73 \text{ cm}$$

Debljina ploče ne smije biti veća od 4 cm, a proračun uvjet nije zadovoljen. Kako bi dobili debljinu veću ili jednaku 4 cm, povećat će se dimenzija pločice.

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

$$b_{pl} > \frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{t_{pl}^{\max 2} \cdot f_y} = \frac{1,1 \cdot 9756 \cdot 6}{4,0^2 \cdot 35,5} = 113,36 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploča su 690 x 1140 x 40 mm

8.3 DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA REŠETKE

Pripadajuća rezna sila u presjeku za mjerodavnu kombinaciju:

$$N_{Ed} = 950,29 \text{ kN (vlak)}$$

Materijal

Osnovni materijal: FE-510 (S355)

Vijci: M-30; k.v. 8.8 ($f_{yb} = 800 \text{ N/mm}^2$, $f_{ub} = 640 \text{ N/mm}^2$)

Geometrija poprečnog presjeka

Profil CFRHS 300 x 300 x 8

Visina presjeka h (mm)	300
Širina pojasnice b (mm)	300
Debljina pojasnice t_f (mm)	8
Debljina hrpta t_w (mm)	8

8.3.1 Kontrola varova

Maksimalna debljina vara nosača:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Odabrano $a = 5,0 \text{ mm}$:

Otpornost vara:

$$L = O = 5 \cdot 100 \text{ mm} = 500 \text{ mm}$$

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{269,3}{1,25} \cdot \frac{500}{100} = 1077,2 \text{ kN} > F_{w,Sd} = N_{ed} = 950,29 \text{ kN}$$

8.3.2 Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M-30 k.v. 8.8 :

$$n = 4 \text{ vijka}$$

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{403,9}{1,25} = 323,12 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{950,29}{4} = 237,57 \leq F_{t,Rd} = 323,12 \text{ kN}$$

8.3.3 Proračun ploče

Proračun dimenzije ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 30 + 5\sqrt{2} = 67,07 \text{ mm} \approx 67 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 100 + 2 \cdot 60 = 220 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 2 \cdot c \cdot 0,707 + 2 \cdot e_2 = 300 + 2 \cdot 5\sqrt{2} + 2 \cdot 67 \cdot 0,707 + 2 \cdot 60$$

$$b_{pl}^{\min} = 521,81 \text{ mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 530 x 530 mm.

8.3.4 Proračun minimalne debljine ploče

$$M_{Ed} = F_{t,sd} \cdot c / 2\sqrt{2} = 237,57 \cdot 67 / 2\sqrt{2} = 10,03 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1}$$

$$W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b \cdot t_{pl}^2}{6} \rightarrow t_{pl} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1003 \cdot 6}{52,2 \cdot 35,5}} = 1,89 \text{ cm}$$

Usvojene dimenzije ploče su 530 x 530 x 20 mm

9 GRAFIČKI PRILOZI

9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA MJ. 1:200

9.2 POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA MJ. 1:200

9.3 DETALJ SPOJA A - STUP - TEMELJ MJ. 1:10

9.4 DETALJ SPOJA B - STUP - REŠETKA MJ. 1:10

9.5 DETALJ SPOJA C - VLAČNI NASTAVAK MJ. 1:10

9.6 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA MJ. 1:50

10 LITERATURA

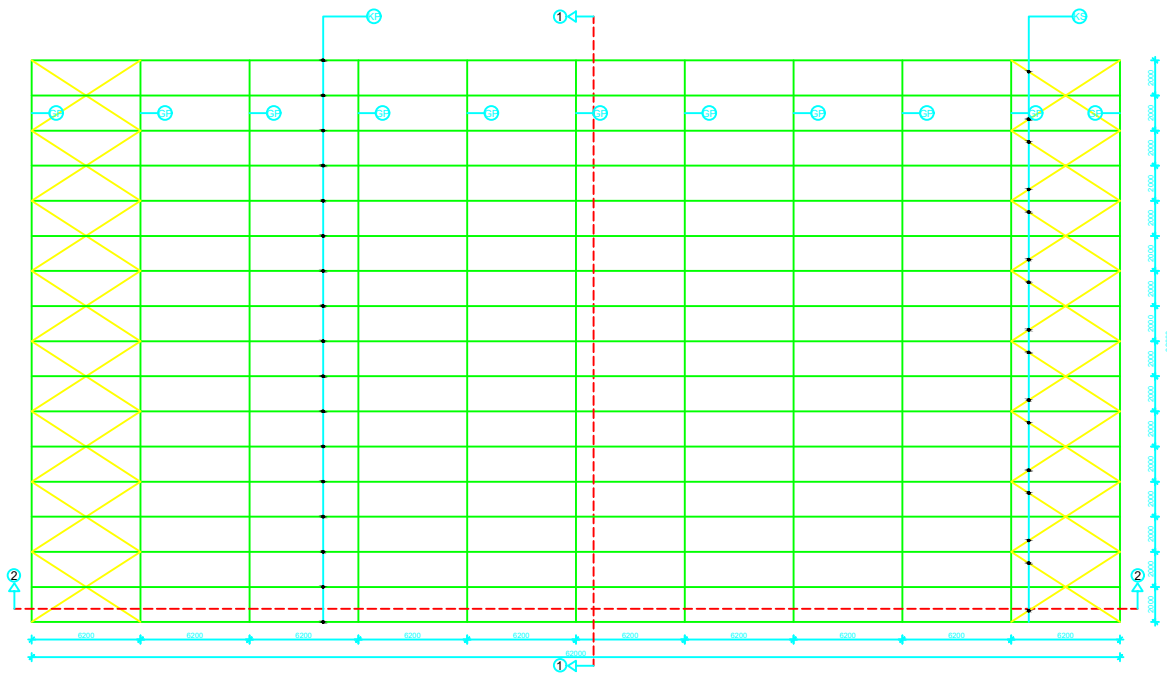
Knjige i skripte

- {1} B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- {2} B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 2, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- {3} B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.
- {4} ENV 1993-1-1: 1992: Eurocode 3: Bemessung nach EC3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hachbau.
- {5} B. Peroš, I. Boko: Predavanja

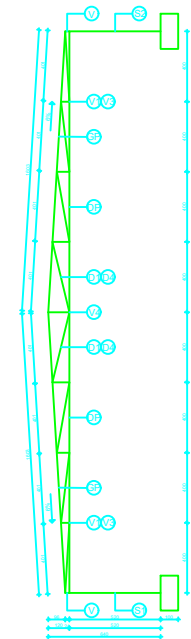
Računalni programi

- {1} Microsoft Office Word 2016, Microsoft nv, Copyright © 2016.
- {2} Microsoft Office Excel 2016, Microsoft nv, Copyright © 2016.
- {3} AutoCAD 2017, Autodesk nv, Copyright © 2017.
- {4} SCIA Engineer 2017, Nemetschek Scia nv, Copyright © 2016.

GENERALNI PLAN POZICIJA MJ 1:200

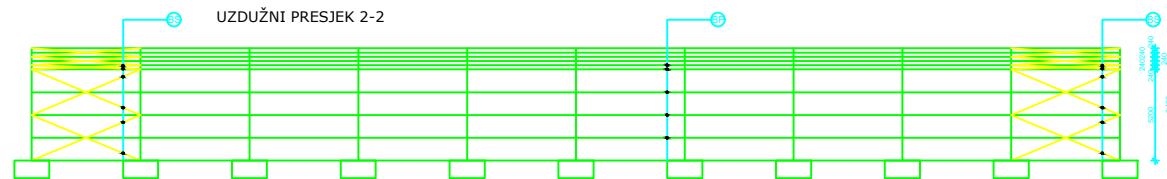


POPREČNI PRESJEK 1-1



- GP - gornja pojasnica 300/300/12,5
- DP - donja pojasnica 300/300/8
- KP - krovna podrožnica IPE 360
- BP - bočna podrožnica HEA 120
- KS - krovni spreg $\Phi 16$
- BS - bočni spreg $\Phi 16$
- D1-D4 - dijagonale 120/120/4
- V - rubna vertikala 300/300/8
- V1-V4 - vertikale 120/120/4
- S1-S2 - stup HEA 340

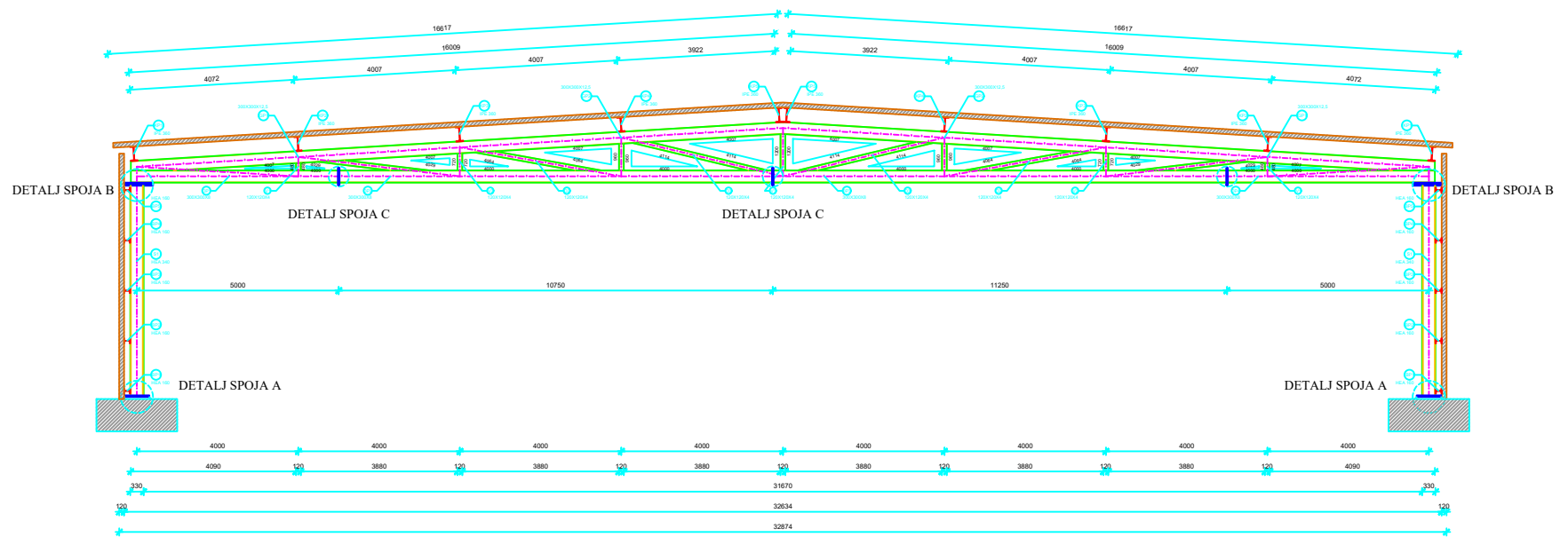
UZDUŽNI PRESJEK 2-2



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU

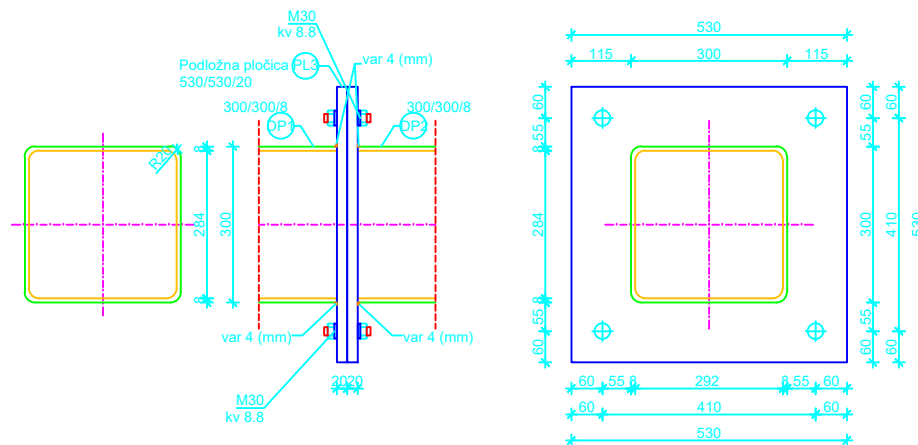
PREDMET	METALNE KONSTRUKCIJE	DATUM:
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	09.2018.
SADRŽAJ LISTA	GENERALNI PLAN POZICIJA	M 1:200
STUDENT	MARIN RAKO	

POPREČNI PRESJEK GLAVNOG OKVIRA MJ 1:50



	FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
	PREDMET	METALNE KONSTRUKCIJE	DATUM: 09.2018.
	ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	
	SADRŽAJ LISTA	POPREČNI PRESJEK GLAVNOG NOSAČA	M 1:200
STUDENT	MARIN RAKO		

DETALJ SPOJA C VLAČNI NASTAVAK DONJE POJASNICE MJ 1:10



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU

PREDMET OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA

DATUM:
09.2018.

ZADATAK DIMENZIONIRANJE SUSTAVA

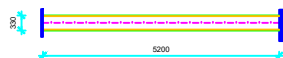
SADRŽAJ LISTA DETALJ SPOJA C - VLAČNI NASTAVAK

M 1:10

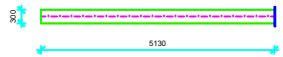
STUDENT MARIN RAKO

RADIONIČKI NACRT GLAVNOG OKVIRA MJ 1:50

S1-S2 - stup HEA 340; l=5200 mm



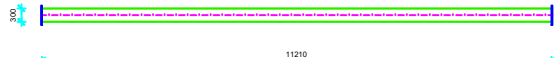
DP1 - donja pojasnica 300/300/8;l=5130mm



DP2 - donja pojasnica 300/300/8;l=10710mm



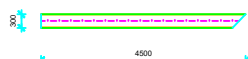
DP3 - donja pojasnica 300/300/8;l=11210mm



GP1 - gornja pojasnica 300/300/12,5;l=11500mm



GP1 - gornja pojasnica 300/300/12,5;l=11500mm



V1-vertikala 300/300/8



V2-vertikala 300/300/8



V3-vertikala 300/300/8



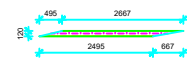
V4-vertikala 300/300/8



D1-dijagonala 120/120/4



D2-dijagonala 120/120/4



D3-dijagonala 120/120/4



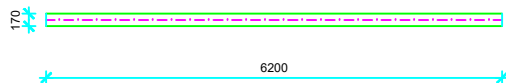
ISKAZ MATERIJALA ZA JEDAN GLAVNI OKVIR						
OPIS POZICIJE	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA(kg/m)	MASA(kg)	
1	Stup	HEA 340	2	125,73	1307,59	
2	Donji pojas DP1	300x300x8	2	20,51	210,43	
3	Donji pojas DP2	300x300x8	1	20,51	219,66	
4	Donji pojas DP3	300x300x8	1	20,51	229,92	
5	Gornji pojas GP1	300x300x12,5	2	24,67	567,41	
6	Gornji pojas GP2	300x300x12,5	2	24,67	221,49	
7	Vertikala V1	300x300x8	2	20,51	7,51	
8	Vertikala V2	300x300x8	2	20,51	17,35	
9	Vertikala V3	300x300x8	2	20,51	27,20	
10	Vertikala V4	300x300x8	1	20,51	18,38	
11	Dijagonala D1	120x120x4	2	14,21	81,28	
12	Dijagonala D2	120x120x4	2	14,21	89,86	
13	Dijagonala D3	120x120x4	2	14,21	96,71	
14	upeti spoj stup-temelj	610x640x40	2	7850	15,70	
15	upeti spoj stup-rešetka	690x1140x40	4	7850	31,40	
				SUMA	3141,89	
16				Vijci + zavari + montažne dijagonle	2%SUMA	62,84
				KON. SUMA	3204,73	



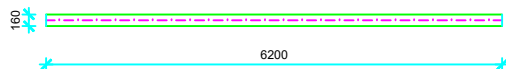
FACULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	METALNE KONSTRUKCIJE	DATUM: 09.2018.
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	
SADRŽAJ LISTA	RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA	M 1:50
STUDENT	MARIN RAKO	

RADIONIČKI NACRT SEK.KONSTR. MJ 1:50

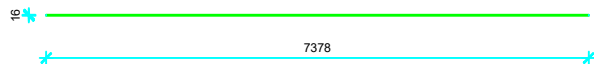
KP - krovna podrožnica IPE 360; l=6200 mm



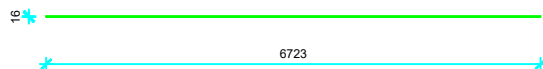
BP - bočna podrožnica HEA 160; l=6200mm



KS - krovni spreg \varnothing 16; l=7378mm



BS - bočni spreg \varnothing 16; l=6723mm



ISKAZ MATERIJALA SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE						
	OPIS POZICIJE	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED.TEŽINA(kg/m)	MASA(kg)
1	Krovna podrožnica	IPE 360	6200	160	86,97	86274,24
2	Bočna podrožnica	HEA 160	6200	100	38,23	23702,6
3	Krovni spreg	\varnothing 16	7378	32	3,32	783,84
4	Bočni spreg	\varnothing 16	6723	16	3,32	357,13
Vijci + zavari					SUMA	111117,81
					2%SUMA	22223,56
					KON. SUMA	133341,37



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	METALNE KONSTRUKCIJE	DATUM:
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	09.2018.
SADRŽAJ LISTA	RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA	M 1:50
STUDENT	MARIN RAKO	