

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Miljak, Frane

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:123:151470>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD



Frane Miljak

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

ZAVRŠNI RAD

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI
STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Frane Miljak

BROJ INDEKSA: 4291

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

PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka:

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 275

Objekt se nalazi na području Zagreba.

Razmak okvira: 4.3 (m)

U Splitu, 12.9.2018.

Voditelj Završnog rada: prof.dr.sc Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije. Objekt se nalazi na području Zagreba. Proračun se provodi na temelju krajnjeg graničnog stanja (KGS) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno: vlastita težina i promjenjivo: snijeg i vjetar. Rezultati unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia Engineer 2017“.

Ključne riječi:

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

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: it is main supporting structure, secondary structure and bracings. Object is located in Split. Estimate is based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit states (SLS). Loads are permanent: self weight and variable: snow and wind. Results are from „Scia Engineer 2016“.

Keywords:

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

SADRŽAJ

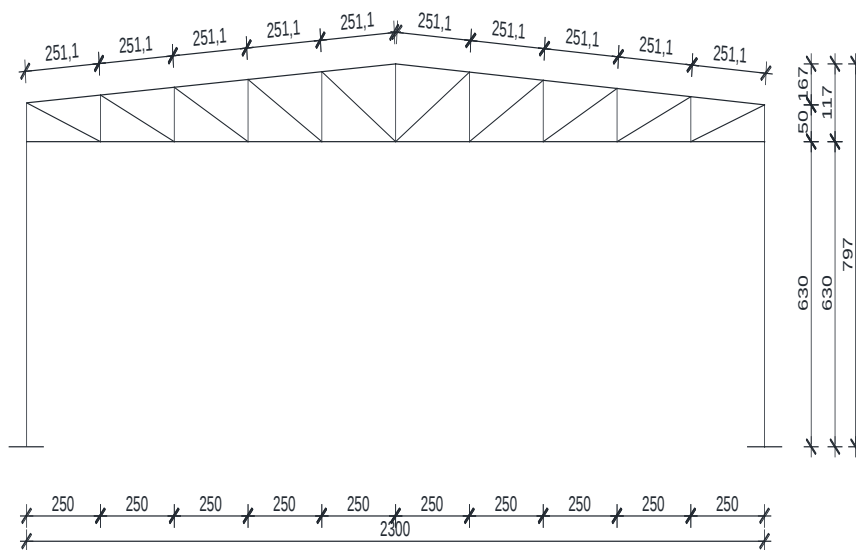
1. TEHNIČKI OPIS	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
1.2. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
1.2.2. STUPOVI	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
1.2.6. SPOJ STUP-TEMELJ	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
1.3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
1.4. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
2.3. DJELOVANJE VJETRA.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
3. KONTROLA PROGIBA.....	21
3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB.....	22
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA	23
4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W2.....	25
4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1.....	26
4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W2).....	28
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA	30
4.2.2. KROVNI	32
4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI.....	34
4.2.4. KROVNE PODROŽNICE.....	35
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE.....	45
5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....	47
5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA	54
5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA.....	57
5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA	59
5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA	64
5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA	68
5.2.2. ZABATNI STUPOVI	73
5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA	78

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA.....	83
6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA	85
6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE	91
6.3. SPOJ STUP-REŠETKA.....	93
7. PRORAČUN TEMELJA	97
8. LITERATURA	99
9. POPIS TABLICA I SLIKA.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
9.2. POPIS TABLICA.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
10. NACRTI	100
10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200	101
10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50	102
10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10	103
10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50	104
10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50.....	105
10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10	106
10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU	107

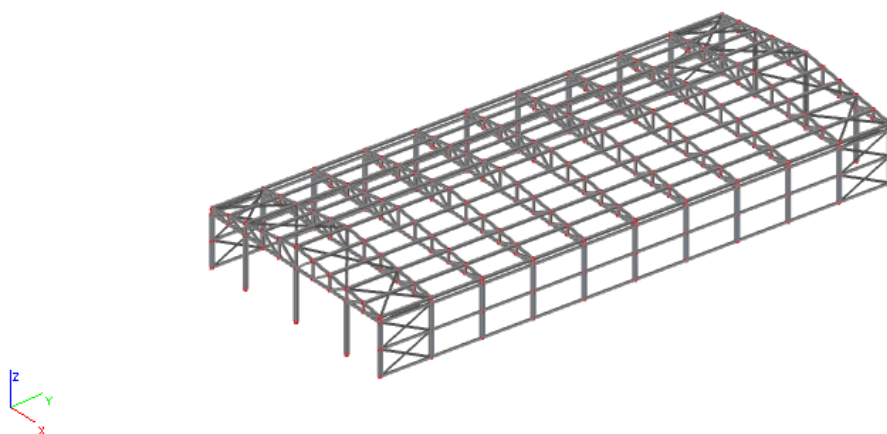
1. TEHNIČKI OPIS

1.1. KONSTRUKTIVNI SUSTAV KROVA

Projektom je zadan konstruktivni sustav - rešetkasti nosač raspona $l = 25,0$ m. Kut nagiba krova prema horizontali iznosi $5,14^\circ$ što je ekvivalentno nagibu od 9%. Glavni nosači su paralelni u tlocrtu i nalaze se na međusobnom razmaku 4,3 m. Stabilizacija gornjeg pojasa predviđena je prostornim spregovima, visina hale do sljemena iznosi $H = 7,97$ m, a visina stupova $h = 6,3$ m.



Glavni nosivi sustav je zamišljen kao 11 ravninskih okvira raspona 25m ,na međusobnom osnom razmaku od 4,3m.



1.2. OPIS KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi HEA 280, ukupne duljine 6300mm, isto tako zabetni stupovi su I profila, istoga tipa HEA280 .Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije usljed djelovanja opterećenja, tj. Pomaci stupa su manji od dopuštenih pomaka.

Glavni nosači

Glavni nosači predstavljaju nosivi dio konstrukcije i prenose vertikalna opterećenja na nosive zidove i dalje na temeljno tlo. Glavni nosači su dimenzionirani da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenja od snijega i vjetra. Oni su pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFRHS 120X120X8 spojeni u čvorovima. Sami elementi geometrije prikazani su na generalnom nacrtu.

Podrožnice

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Elementi podrožnice koji imaju i funkciju vertikalnog vjetrovnog sprega, I poprečnog presjeka profil IPE200 i nalaze se na razmaku od 2,51m. Podrožnica je okomita na nagib krovne plohe. Pri dimenzioniranju podrožnice koristi se djelovanje snijega, gravitacije i vjetra. Bočne podrožnice su I poprečnog presjeka profila IPE200.

Spreg

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za pridržavanje glavnih nosača da ne bi došlo do izbočavanja. Horizontalne spregove tvore glavni nosači kao pojasevi, glavne podrožnice kao vertikale i dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka Ø20, RD20.

1.3. SPOJEVI

Vlačni nastavak rešetke

Spoj donjeg pojasa se izvodi čeonim pločama dimenzija 260x260x20(mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M22; k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez. Spoj gornjeg pojasa se izvodi čeonim pločama dimenzija 260x260x20(mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M22 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.

Stup – rešetka

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 430x320x6(mm) i vijcima M16; k.v. 10.9. nosivim na odrez.

Stup – temelj

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 500x320x8 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M22; k.v. 10.9. nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano-betonski temelj. Između podložne ploče i armirano-betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

1.3. STATIČKA ANALIZA SUSTAVA

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja koja djeluju na metalnu konstrukciju. Ta opterećenja stalna ili promjenjiva te njihove kombinacije:

STALNA OPTEREĆENJA: vlastita težina, instalacije, pokrov

PROMJENJIVA OPTEREĆENJA: -snijeg
-vijetar (tlačno ili podtlačno djelovanje)

Za proračun uzimamo najnepovoljniju kombinaciju opterećenja. Za proračun statičkog odgovora konstrukcije i izračun unutarnjih sila (momenti savijanja, poprečne i uzdužne sile) korišten je kompjutorski program ("SCIA"). Gornji i donji pojas su izračunati kao kontinuirane grede na koje su zglobno vezane dijagonale i vertikale. Ovakvim načinom računanja dolazi se do stvarnog stanja naprezanja u presjecima rešetke. Izvršena je i analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji djeluje okomito na glavni nosač i izbočava ga. Cilj ovog proračuna je prostorna stabilizacija konstrukcije.

1.5. MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika Fe-430 (S275).

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

Računske vrijednosti koeficijenata čelika su:

$$E=210\,000\text{ N/mm}^2$$

$$G\approx 81\,000\text{ N/mm}^2$$

$$\nu=0.3$$

$$f_y=275\text{ N/mm}^2 \text{ za } t\leq 40\text{mm}$$

$$f_y=275\text{ N/mm}^2 \text{ za } 40\text{mm}\leq t\leq 80\text{mm}$$

PRIMJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije proveden je prema sljedećim propisima:

-Analiza opterećenja:

HRN EN 1991	vlastita težina građevine
HRN EN 1992	djelovanje snijega na konstrukciju
HRN EN 1993	djelovanje vjetra na konstrukciju

-Dimenzioniranje:

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

1.6. ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije.

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

1.7. ZAŠTITA OD POŽARA

Svi elementi moraju se zaštititi posebnim premazima otpornim na visoke temperature, s ciljem što veće zaštite od požara. Također je potrebno opremiti objekt za slučaj nastanka požara uređajima za najavu požara kao i opremom za njegovo gašenje.

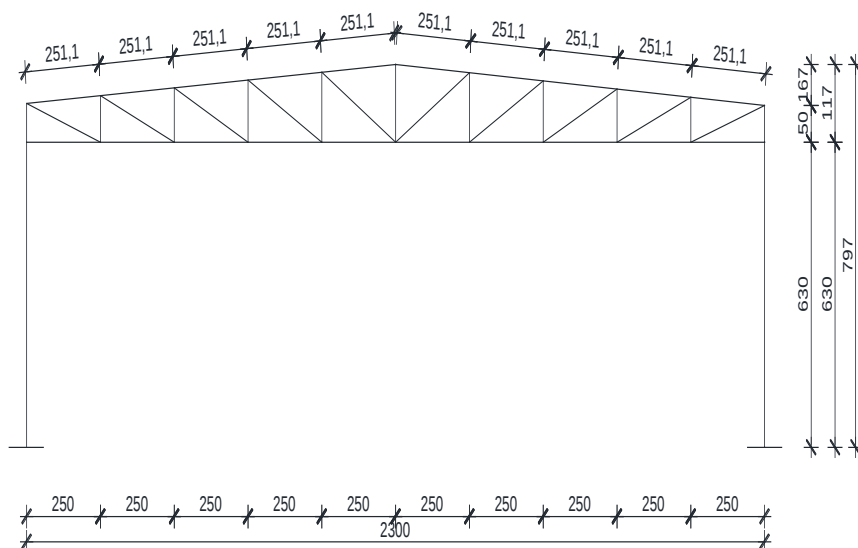
1.8. MONTAŽA I TRANSPORT

Pozicije okvira će se izrezati u radionici te transportirati na gradilište. Pri tome je potrebno obratiti posebnu pažnju na montažu i transport da bi se izbjegla nepotrebna oštećenja. Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno sa transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Potrebno je poduzeti sve mjere u skladu s "Pravilnikom o zaštiti na radu".

2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. GEOMETRIJA NOSAČA I OPĆI PODACI

2.1.1. GEOMETRIJA



slika 2.1. Geometrija rešetke

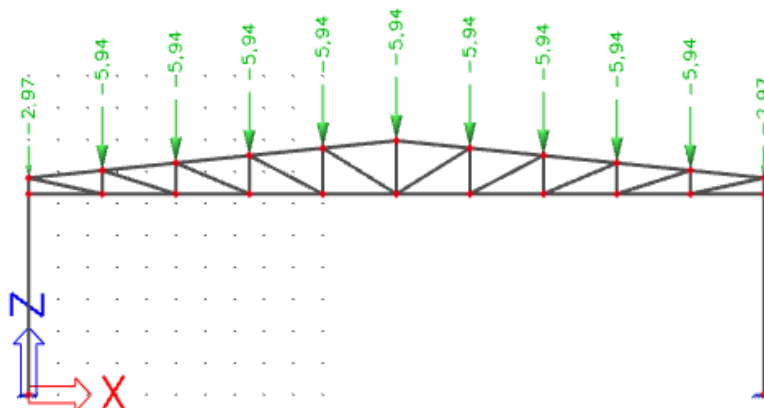
2.2. STALNO OPTEREĆENJE - KROVNA PLOHA

- sendvič paneli:.....0.25 kN/m²
- sekundarna konstrukcija, spregovi i instalacije:.....0.30 kN/m²

$$\Sigma = 0.55 \text{ kN/m}^2$$

$$G = a \cdot l \cdot g \quad a = \frac{2.5}{\cos(5.14)} = 2.51$$
$$G = 2.51 \cdot 4.3 \cdot 0.55 = 5.94 \text{ kN}$$
$$\frac{G}{2} = 2.97 \text{ kN}$$

2.2.1. SKICA OPTEREĆENJA



Slika 2.2. Stalno opterećenje G

2.3. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - DJELOVANJE SNIJEGA

Opterećenje snijegom na krovu (po tlocrtnoj površini krova) određuje se po formuli:

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

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

$s_k = 1,30 \text{ kN/m}^2 \quad \Leftrightarrow$ za Zagreb, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

$\mu_i \Rightarrow$ koeficijent oblika za opterećenje snijegom , očitamo ga ovisno o α ,

α je nagib krova

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

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

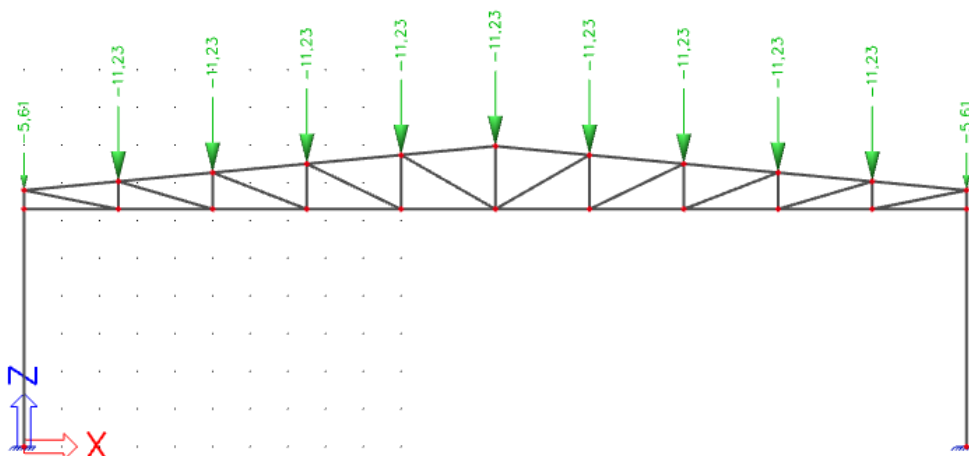
Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine:

$$s_1 = 1,3 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 1,04 \text{ [kN/m}^2 \text{]}$$

$$S = 1,04 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,30 \text{ m} \cdot 2,51 = 11,23 \text{ kN/m}$$

$$S/2 = 5,61$$

2.3.1. SKICA OPTEREĆENJA



Slika 2.3. Promjenjivo opterećenje

2.4. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE - DJELOVANJE VJETRA

- Pritisak vjetra na vanjske površine:

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

$q_p |z_e|$ - pritisak brzine vjetra pri udaru

z_e - referentna visina za vanjski pritisak

c_{pe} - koeficijent pritiska za vanjski vjetar

- Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad [\text{kN/m}^2] \rightarrow \text{osnovni pritisak vjetra}$$

ρ - gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa: **1.25 kg/m³**)

v_b - osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0}$ - fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra

c_{dir} - faktor smjera vjetra (obično se uzima **1.0**)

c_{season} - faktor doba godine (obično se uzima **1.0**)

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \rightarrow$ očitano iz karte za područje oko Zagreba

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 25 = 25 \quad [\text{m/s}]$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (1/0,05)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(7.97/0,05) = 0,965$$

$$v_m(z) = 0,965 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24.01 \quad (\text{m/s})$$

intezitet turbulencije

$$I_v = 0.197$$

- Pritisak brzine vanjskog vjetra pri udaru:

$$q_p |z_e| = (1 + 7 \cdot 0.197) \cdot 0.5 \cdot 1.25 \cdot 24.01^2 = 0.863 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje faktora izloženosti:

Visina objekta $h=7,97\text{m}$

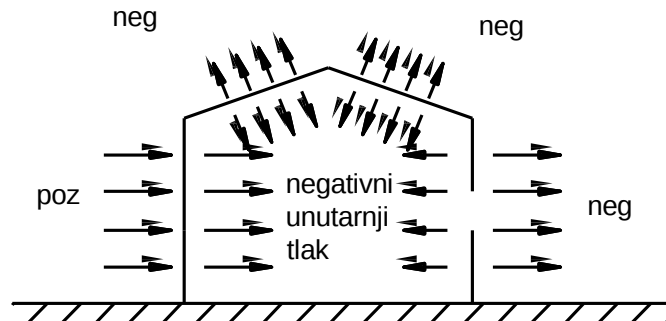
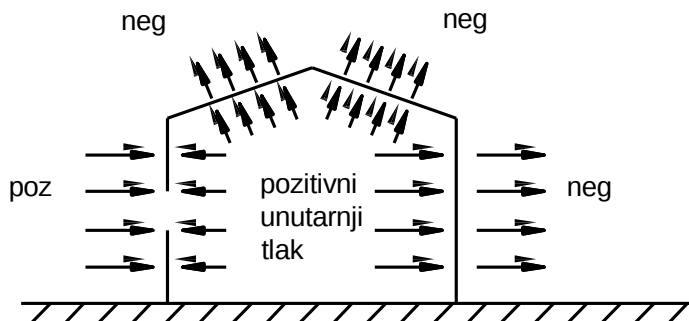
Kategorija zemljišta II

$C_{e(z)}=2.2$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = q_b \cdot C_{e(z)} = 0.39 \cdot 2.2 = 0.859 \text{ kN/m}^2$$

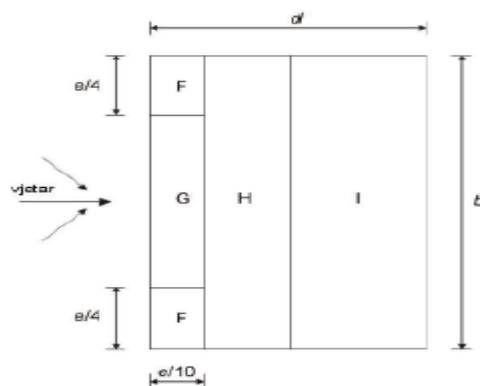
Uzeta vrijednost: $0,863 \text{ kN/m}^2$



Određivanje koeficijenta vanjskog pritiska vjetra:

Za dvostrešne krovove koeficijenti vanjskog pritiska određuju se tako da se krovna površina podijeli na zone, dok se referentna visina z_e uzima kao ukupna visina građevine. Koeficijenti tlaka za svako područje ovise o veličini površine opterećene zone građevine. Dopušta se linearna interpolacija između kutova nagiba krovova (osim kad je kut između -5° i $+5^\circ$, tada se koriste podaci za ravne krovove).

$$\alpha = 5,14^\circ > 5^\circ \text{ (kosi krov)}$$



Slika 2.4. Prikaz područja vjetra za kose krovove

$$e = \min (b; 2 \cdot h) = \min (43; 15.94) \rightarrow e = 15.94 \text{ m}$$

- Pritisak vjetra na unutarnje površine površine:

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

$q_p |z_i|$ - pritisak brzine vjetra pri udaru

z_i - referentna visina za unutarnji pritisak

c_{pi} - koeficijent pritiska za unutarnji vjetar

- Pritisak brzine unutarnjeg vjetra pri udaru:

$$q_p |z_i| = 0.863 \text{ kN/m}^2$$

- Koeficijenti unutarnjeg pritiska c_{pi} :

Tamo gdje za neki određeni slučaj nije moguća procjena vrijednosti koeficijenta μ ili se smatra neopravdanom, za c_{pi} odabiremo nepovoljniju vrijednost između $+0.2$ i -0.3 .

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu s krovom nagiba $\alpha=5.14^\circ$, za područje dvostrešnog kosog krova $\theta=0$ (određeno interpolacijom iz tablice između 5° i 15°)

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	-1.7	-1.2	-0.6	-0.6	+0.2

Tablica 1 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	0.0	0.0	0.0	-0.6	-0.6

Tablica 2 Koeficijenti vanjskog djelovanja vjetra

Vrijednosti koeficijenta unutarnjeg pritiska $C_{pi}=+0.2$ $C_{pi}=-0.3$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.9	-1.4	-0.8	-0.8	0.0

Tablica 3 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi}=+0.2$)

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.3	-0.3	-0.3	+0.3	+0.3

Tablica 4 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pe}=-0.3$)

$$w_k = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p = 0,863 \text{ kN/m}^2$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}] \rightarrow L = 4.3 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.9	-1.4	-0.8	-0.8	0
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-1,64	-1,21	-0,69	-0,69	0
$W_k [\text{kN/m}]$	-7,05	-5,2	-2,97	-2,97	0

Tablica 5 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.3	-0.3	-0.3	+0.3	+0.3
$w_k [\text{kN/m}^2]$	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
$W_k [\text{kN/m}]$	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12

Tablica 6 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

Sile u čvorovima krova

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak

$$\begin{aligned}W_1 &= 5,2 \cdot 2,51 / 2 = 6,53 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G} \\W_2 &= 0,345 \cdot 5,2 + 2,165 \cdot 2,97 = -6,93 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G i H} \\W_3 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_4 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_5 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6L} &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6D} &= 0 \rightarrow \text{zona J} \\W_7 &= 0,345 \cdot 0 + 2,165 \cdot 2,97 = -6,43 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_8 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_9 &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{10} &= 2,97 \cdot 2,51 = -7,45 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{11} &= 2,97 \cdot 2,51 / 2 = -3,73 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I}\end{aligned}$$

Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak

$$\begin{aligned}W_1 &= 1,12 \cdot 2,5 / 2 = 1,41 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G} \\W_2 &= 1,12 \cdot 0,345 + 1,12 \cdot 2,165 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona G i H} \\W_3 &= 1,12 \cdot 2,51 = -2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_4 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_5 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6L} &= 1,12 \cdot 2,51 / 2 = 1,405 \text{ kN} \rightarrow \text{zona H} \\W_{6D} &= 1,12 \cdot 2,51 / 2 = 1,405 \text{ kN} \rightarrow \text{zona J} \\W_7 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_8 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_9 &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{10} &= 1,12 \cdot 2,51 = 2,81 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I} \\W_{11} &= 1,12 \cdot 2,51 / 2 = 1,405 \text{ kN} \rightarrow \text{zona I}\end{aligned}$$

Određivanje koeficijenta vanjskog pritiska na vertikalne zidove

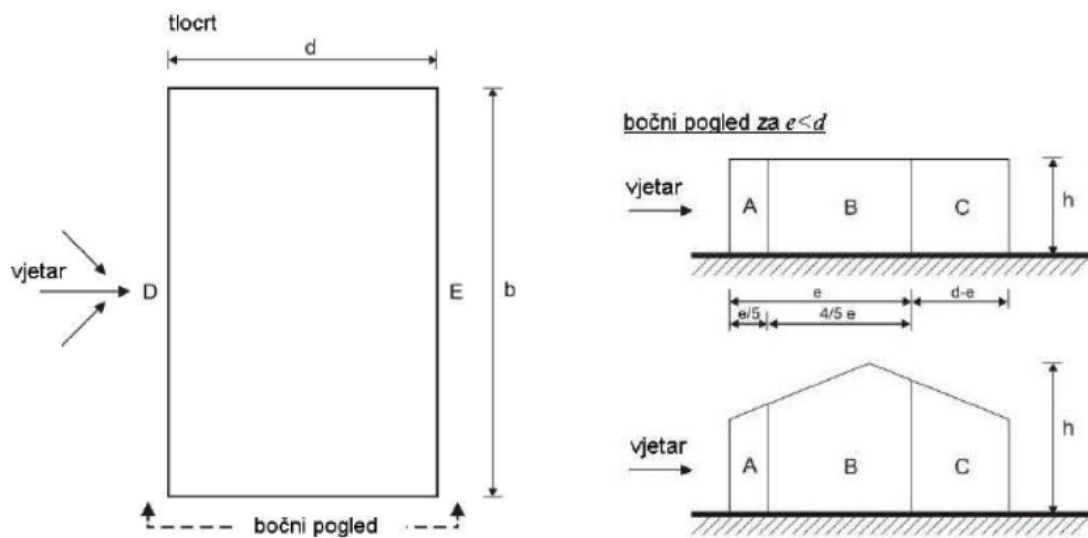
$$e = \min(b, 2h) \rightarrow \min(43, 15.94)$$

$$e = 15.94 \text{ m}$$

$$h = 7.97 \text{ m}$$

$$d = 25 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{7.97}{25} = 0.318$$



Slika 2.6. Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove $h/d=0,318$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1.2	-0.8	-0.5	+0.8	-0.5

Tablica 7 Vrijednosti vanjskih koeficijenata pritiska prema područjima konstrukcije

Određivanje koeficijenta unutarnjeg pritiska

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 vrijednost:

Unutrašnji koeficijenti pritiska $\rightarrow C_{pi} = -0.3, +0.2$

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.4	-1.0	-0.5	+0.6	-0.7

Tablica 8 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi} = +0.2$)

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.9	-0.5	-0.2	+1.1	-0.2

Tablica 9 Ukupan pritisak vjetra izražen u koeficijentima ($C_{pi} = -0.3$)

$$w_k = q_p \cdot (C_{pe} + C_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

$$q_p = 0.863 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{preuzeto iz analize opterećenja glavnog nosača}$$

$$W_k = w_k \cdot L [\text{kN/m}] \rightarrow L = 4.3 \text{ m (razmak glavnih nosača)}$$

Vjetar W1, pozitivni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-1.4	-1.0	-0.5	+0.6	-0.7
$w_k [kN/m^2]$	-1,21	-0,863	-0.432	+0.52	-0.6
$W_k [kN/m']$	-3,85	-11.01	-3,9	+2,24	-2,58

Tablica 10 Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

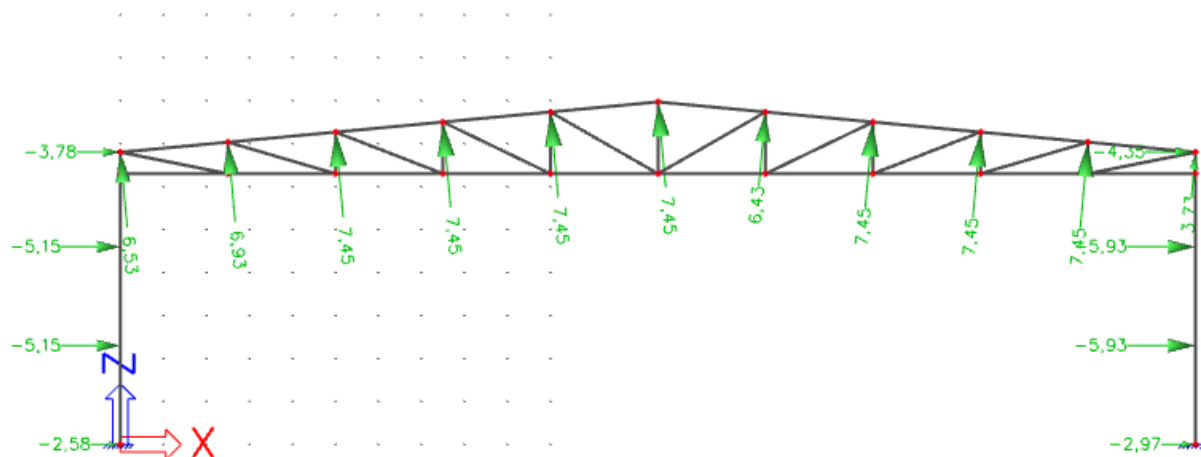
Vjetar W2, negativni unutarnji pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$C_{pe} + C_{pi}$	-0.9	-0.5	-0.2	+1.1	-0.2
$w_k [kN/m^2]$	-0,78	-0.43	-0.17	+0,95	-0.17
$W_k [kN/m']$	-2,48	-5,5	-1,54	+4,08	-0,73

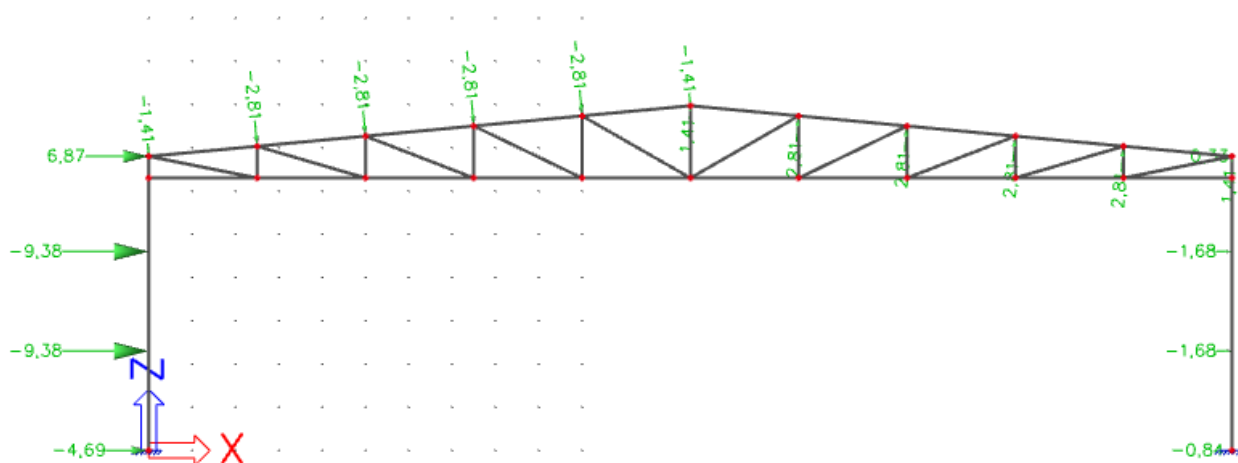
Tablica 11 Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

-Izračunate vrijednosti W_k ne prikazuju vrijednosti sila u čvorovima duž područja D i E, te vrijednosti prikazane su u skici ispod.

2.4.1. SKICE OPTEREĆENJA

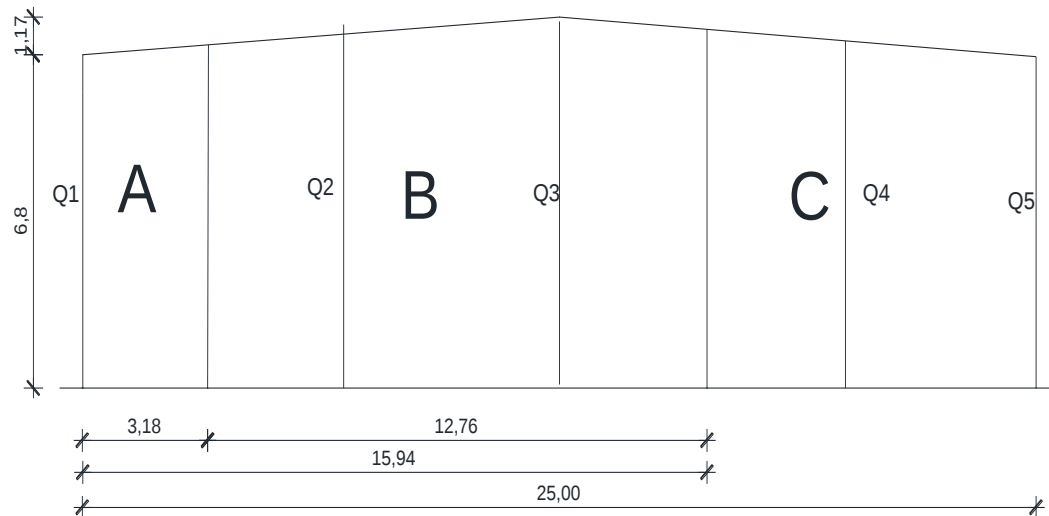


Slika 2.4. priskakajuće djelovanje vjetra W₁



Slika 2.5. odizujuće djelovanje vjetra W₁

2.4.2. SILE VJETRA NA ZABAT



Vrijednosti pritiska vjetra na zabat W1:

$$Q1 = A \cdot 2,5 = 1,21 \cdot 2,5 = 3,03 \text{ kN/m}$$

$$Q2 = A \cdot 0,68 + B \cdot (7,5 - 0,68) = 1,21 \cdot 0,68 + 0,86 \cdot (7,5 - 0,68) = 6,7 \text{ kN/m}$$

$$Q3 = B \cdot 3,75 + B \cdot 3,44 + C \cdot 0,31 = 0,86 \cdot 3,75 + 0,86 \cdot 3,44 + 0,43 \cdot 0,31 = 6,32 \text{ kN/m}$$

$$Q4 = C \cdot (2,5 + 3,75) = 0,43 \cdot 6,25 = 2,69 \text{ kN/m}$$

$$Q5 = C \cdot 2,5 = 0,43 \cdot 2,5 = 1,08 \text{ kN/m}$$

Vrijednosti pritiska vjetra na zabat W2:

$$Q1 = A \cdot 2,5 = 0,78 \cdot 2,5 = 1,95 \text{ kN/m}$$

$$Q2 = A \cdot 0,68 + B \cdot (7,5 - 0,68) = 0,78 \cdot 0,68 + 0,43 \cdot (7,5 - 0,68) = 3,46 \text{ kN/m}$$

$$Q3 = B \cdot 3,75 + B \cdot 3,44 + C \cdot 0,31 = 0,78 \cdot 3,75 + 0,43 \cdot 3,44 + 0,17 \cdot 0,31 = 3,14 \text{ kN/m}$$

$$Q4 = C \cdot (2,5 + 3,75) = 0,17 \cdot 6,25 = 1,06 \text{ kN/m}$$

$$Q5 = C \cdot 2,5 = 0,17 \cdot 2,5 = 0,43 \text{ kN/m}$$

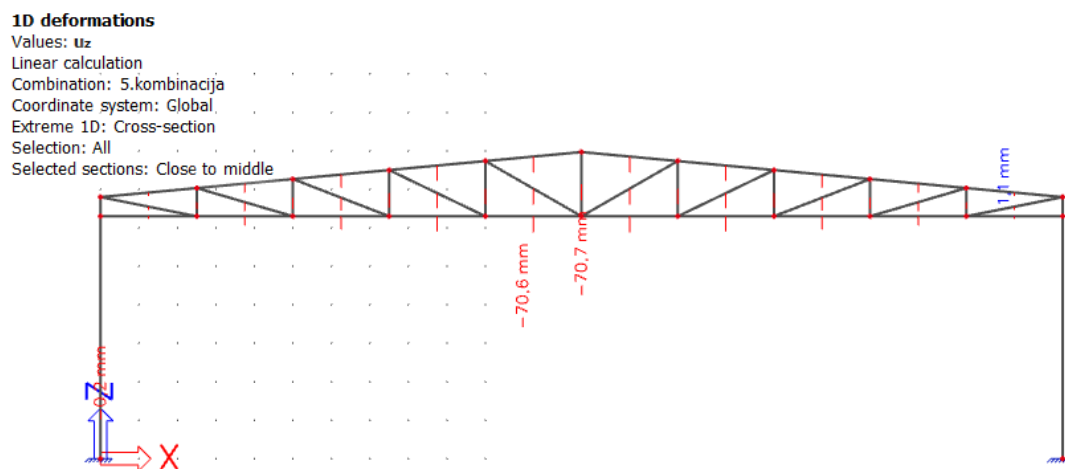
Napomena: Sile Q1-Q5 su dobivene kao jednoliko raspoređeno opterećenje po zabatnim zidovima, reakcije u ležajevima se prenose na krovni spreg, pri čemu je uzeta najveće opterećenje od opterećenja „w1“.

3. KONTROLA PROGIBA

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

3.1. KROVIŠTE-VERTIKALNI PROGIB

Najveći progib izazvan je djelovanjem kombinacije $1.0LC_1+1.0G+1.0S+1.0W_2$



Slika 1 Vertikalni progib glavnog nosača

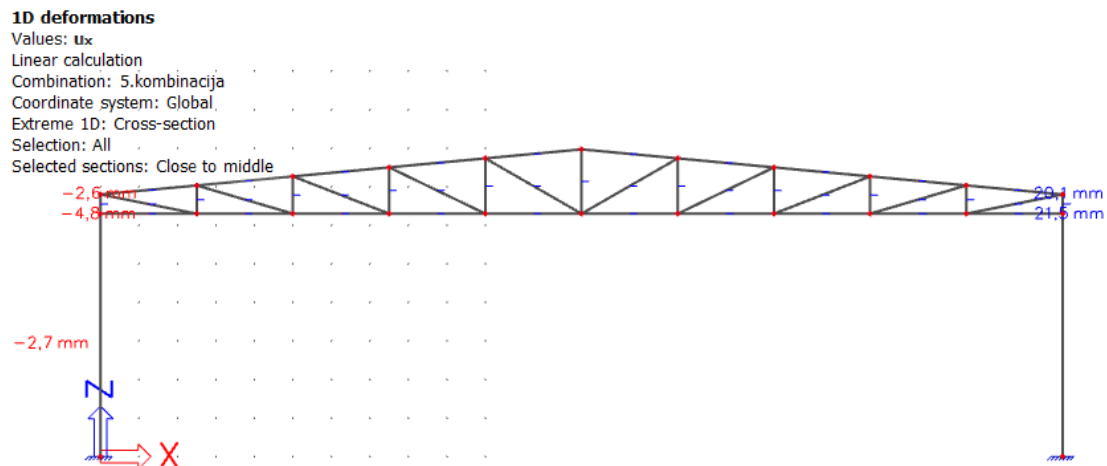
$$\text{Dopušteni progib: } \frac{L}{300} = \frac{25\,000}{300} = 83.33\text{mm}$$

$$\frac{70.7}{83.33} = 0.85 \rightarrow 85\%$$

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti do 85%.

3.2. STUP- HORIZONTALNI PROGIB

Najveći progib stupa izazvan je djelovanjem kombinacije $1.0LC_1+1.0G+1.0S+1.0W_2$



Slika 2 Horizontalni progib glavnog nosača

$$\text{Dopušteni progib: } \frac{H}{300} = \frac{7970}{300} = 26.06 \text{ mm}$$

$$\frac{21.5}{26.06} = 0.83 \rightarrow 83\%$$

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti sa 88%.

Profil konstrukcije glavnog nosača za koji su dobiveni navedeni progibi su:

- gornji pojas CFRHS 120x120x8.0
- donji pojas CFRHS 120x120x8.0
- vertikale CFRHS 120x80x5.0
- dijagonale CFRHS 180x80x5.0
- stup HEA 280

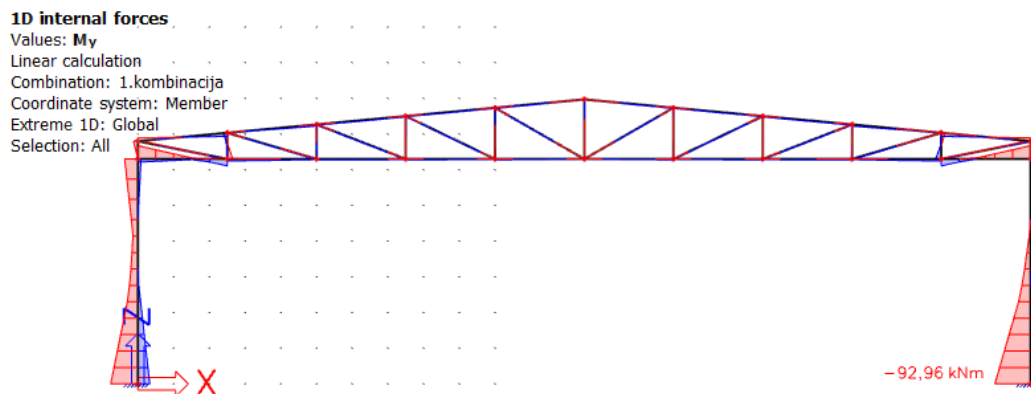
4. DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

4.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

Dijagrami reznih sila dobiveni su za istoimene profile koji su korišteni pri računanju progiba.

Profil su usvojeni sa iskoristivosti od 85%.

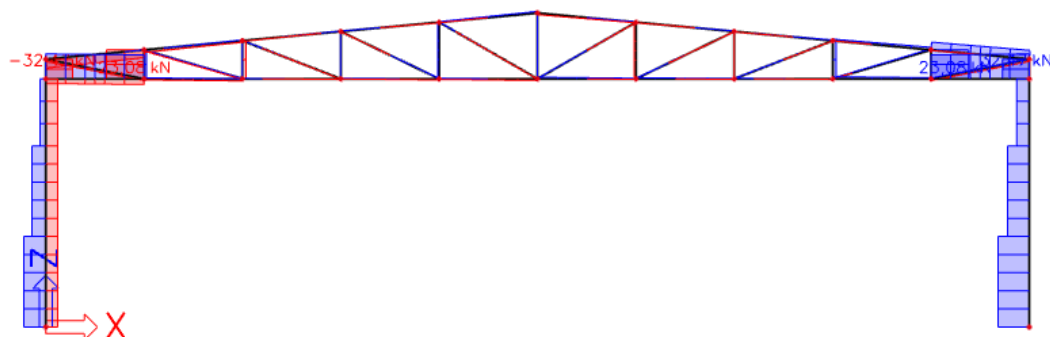
4.1.1. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5S



Slika 3 Dijagram momenata za kombinaciju 1

1D internal forces

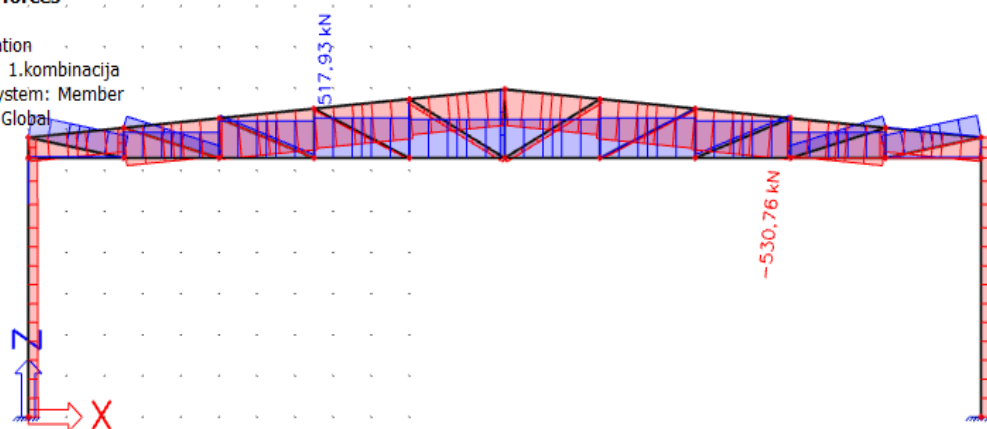
Values: V_z
Linear calculation
Combination: 1.kombinacija
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Cross-section
Selection: All



Slika 4 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 1

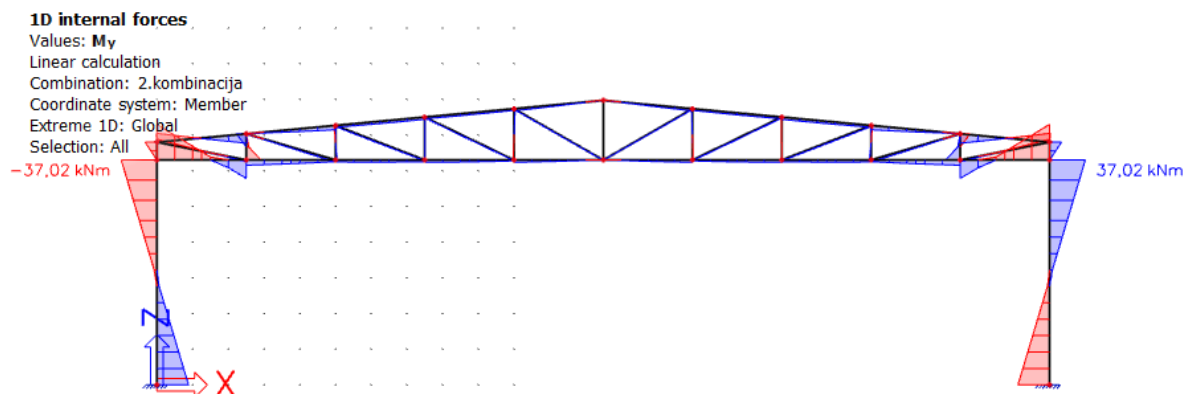
1D internal forces

Values: N
Linear calculation
Combination: 1.kombinacija
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Global
Selection: All

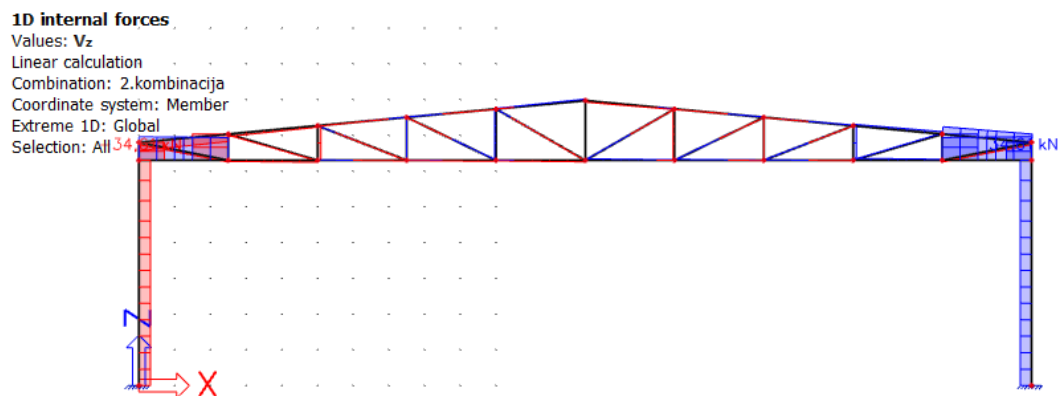


Slika 5 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 1

4.1.2. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.5W2



Slika 6 Dijagram momenata za kombinaciju 2



Slika 7 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 2

1D internal forces

Values: **N**

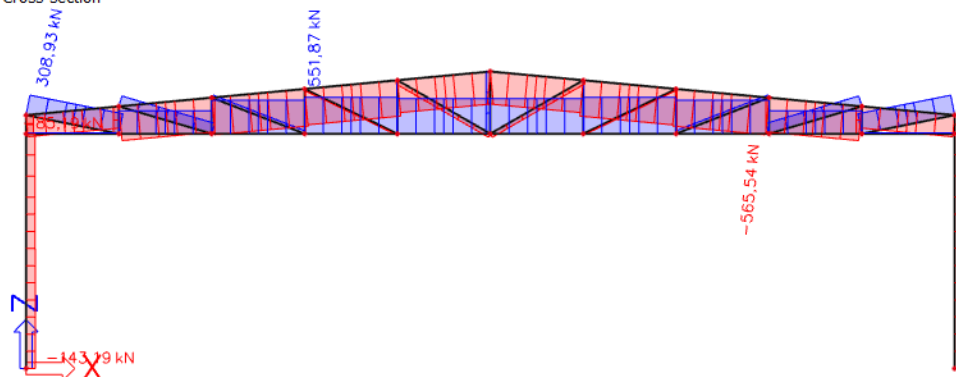
Linear calculation

Combination: 2.kombinacija

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

Selection: All



Slika 8 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 2

4.1.3. KOMBINACIJA 1.00(LC1+G) +1.5W1

1D internal forces

Values: **M_y**

Linear calculation

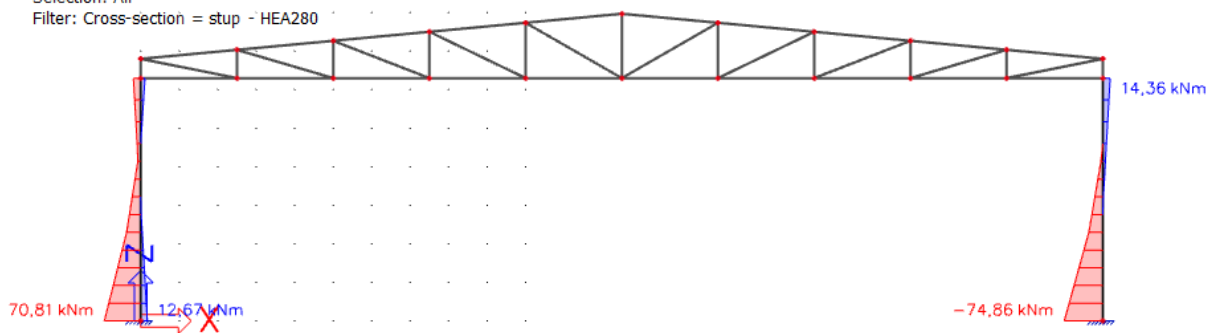
Combination: 3.kombinacija

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 9 Dijagram momenata za kombinaciju 3

1D internal forces

Values: V_z

Linear calculation

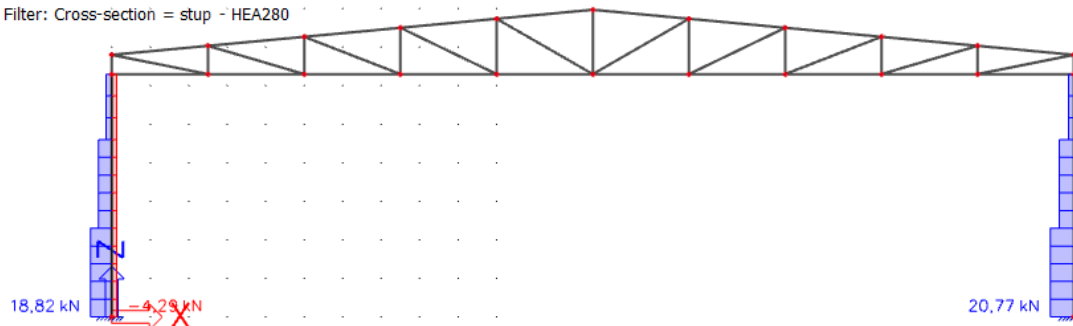
Combination: 3.kombinacija

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 10 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 3

1D internal forces

Values: N

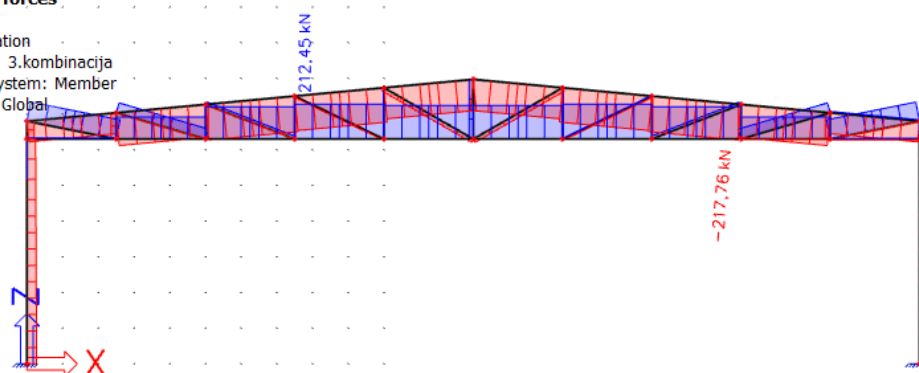
Linear calculation

Combination: 3.kombinacija

Coordinate system: Member

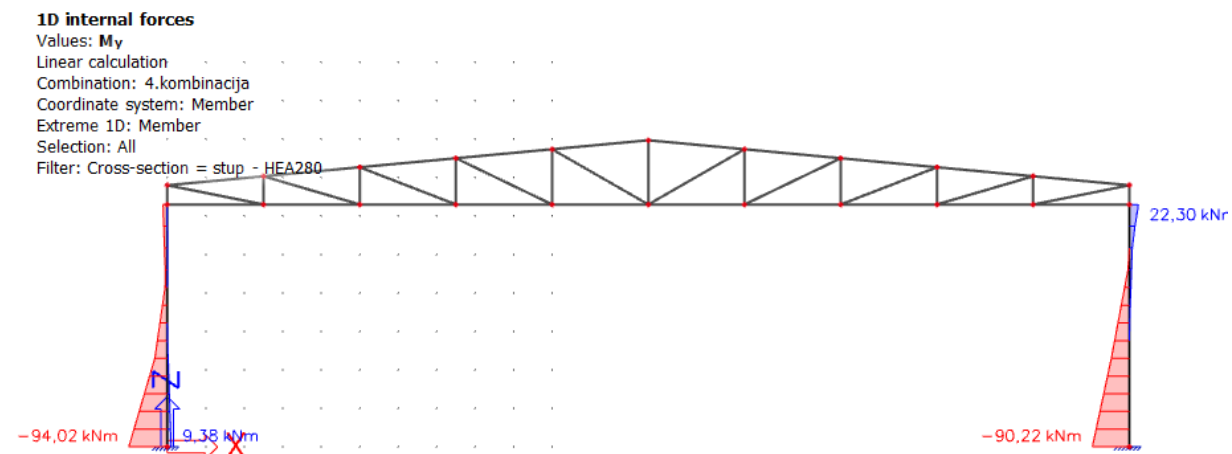
Extreme 1D: Global

Selection: All

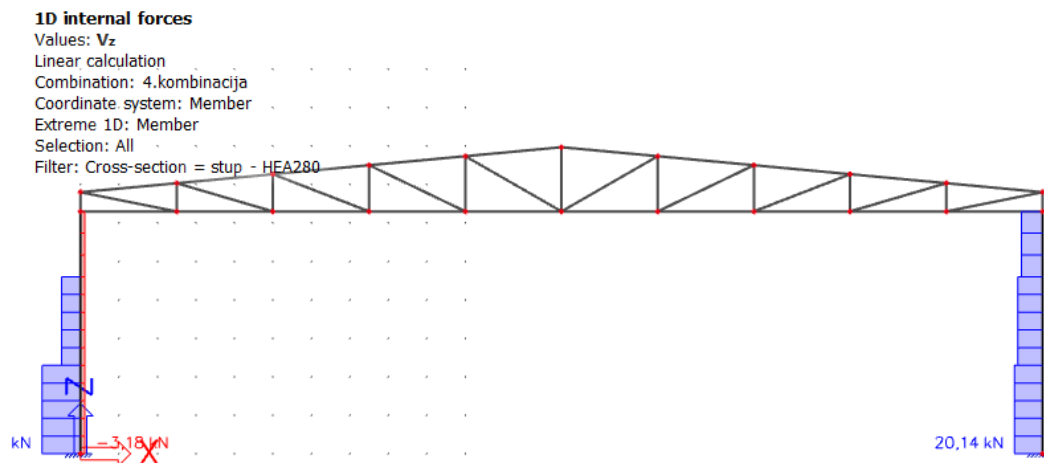


Slika 11 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 3

4.1.4. KOMBINACIJA 1.35(LC1+G) +1.35(S+W2)



Slika 12 Dijagram momenata za 4 kombinaciju



Slika 13 Dijagram poprečnih sila za kombinaciju 4

1D internal forces

Values: **N**

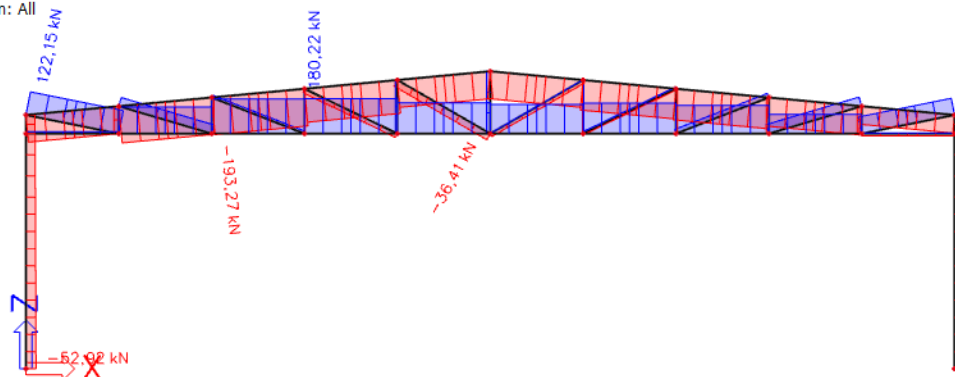
Linear calculation

Combination: 4.kombinacija

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Cross-section

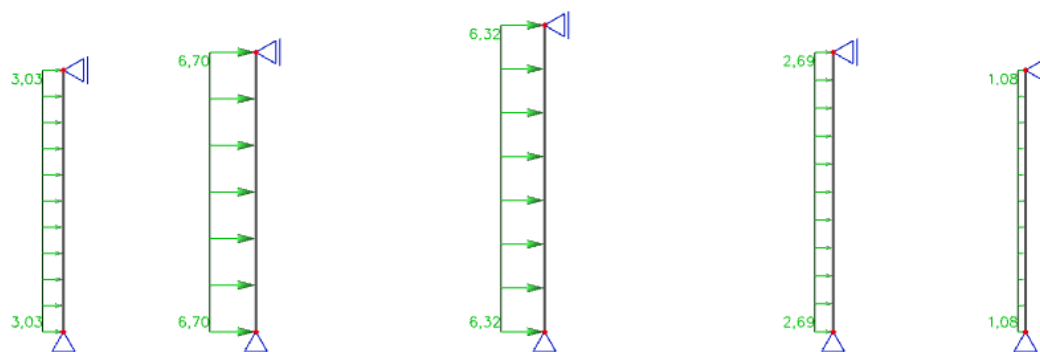
Selection: All



Slika 14 Dijagram uzdužnih sila za kombinaciju 4

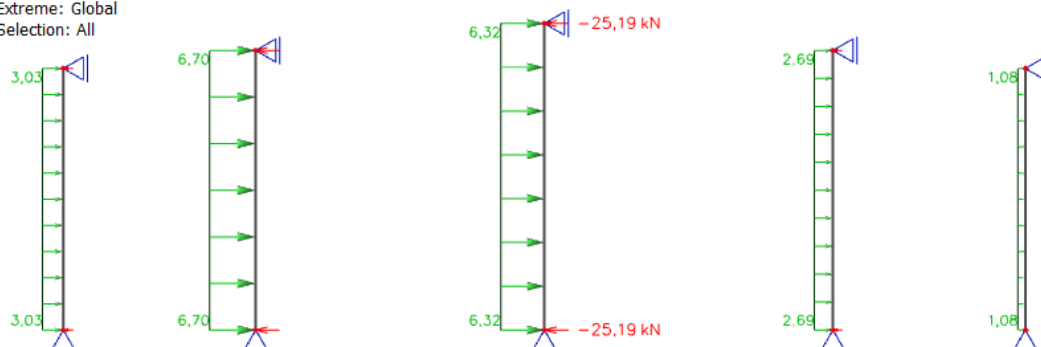
4.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

4.2.1. ZABATNI STUPOVI (Za djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1)



Slika 15 Djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1 na zabatne stupove

Reactions
Values: R_z , R_x
Linear calculation
Load case: w1
System: Global
Extreme: Global
Selection: All



Slika 16 Reakcije na djelovanje pozitivnog unutarnjeg pritiska W1

1D internal forces

Values: M_y

Linear calculation

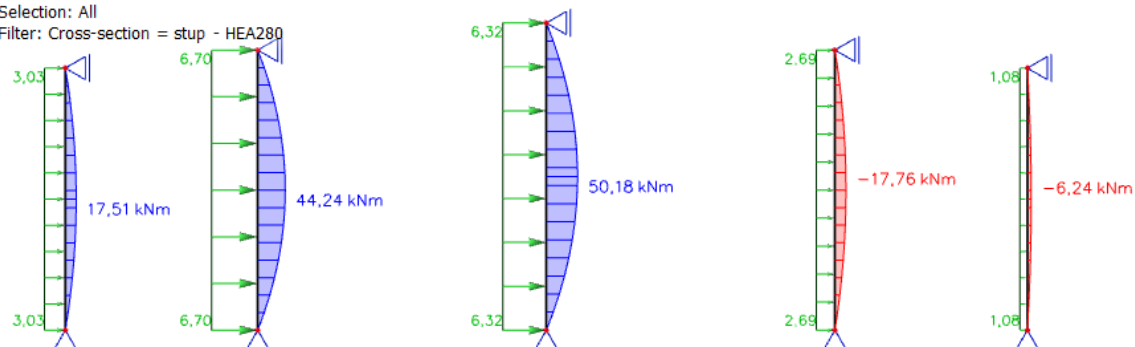
Load case: w1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 17 Dijagram momenata na zabatne stupove od opterećenja W2

1D internal forces

Values: V_z

Linear calculation

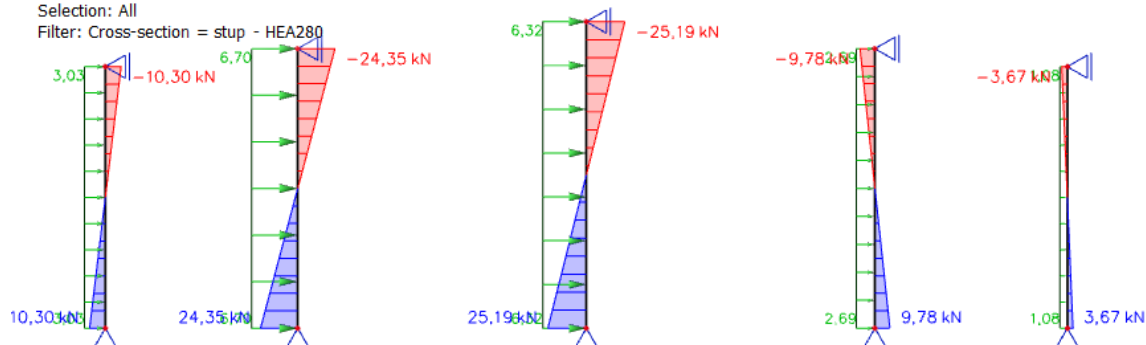
Load case: w1

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

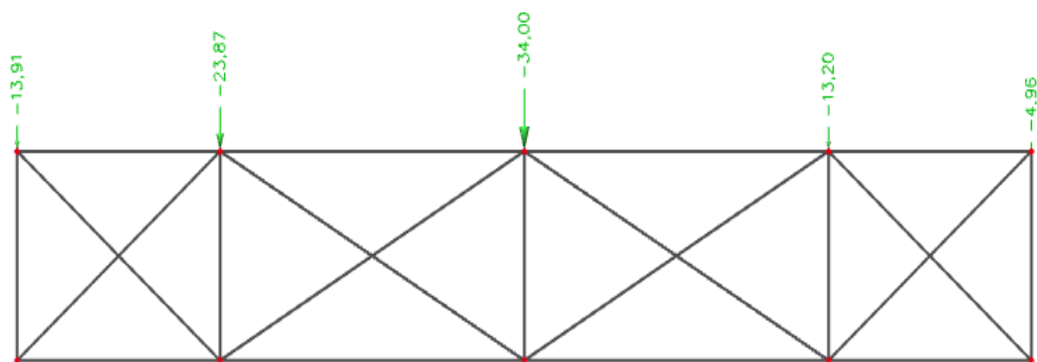
Selection: All

Filter: Cross-section = stup - HEA280



Slika 18 Dijagram poprečnih sila na zabatne stupove od opterećenja W2

4.2.2. KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI



Slika 19 Djelovanje na horizontalni spreg (sa zabatnih stupova) reakcije horizontalnog sprega

Reactions

Values: R_z

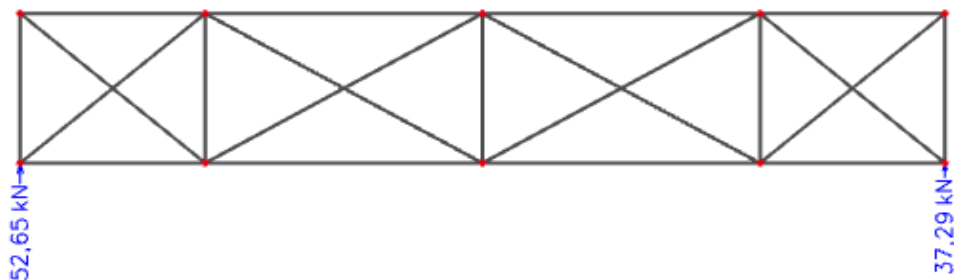
Linear calculation

Load case: zabat-opterećenje

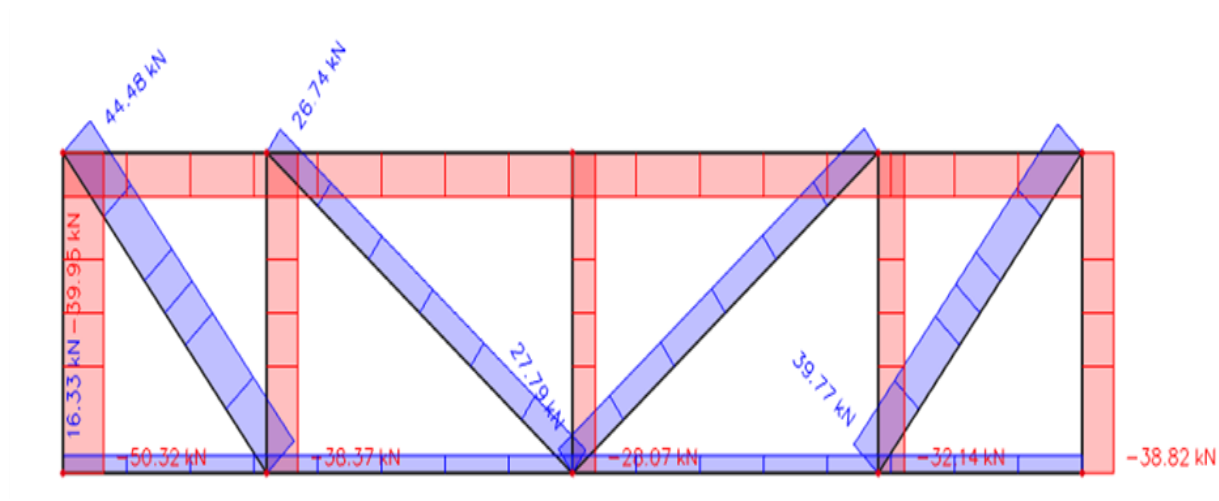
System: Global

Extreme: Member

Selection: All

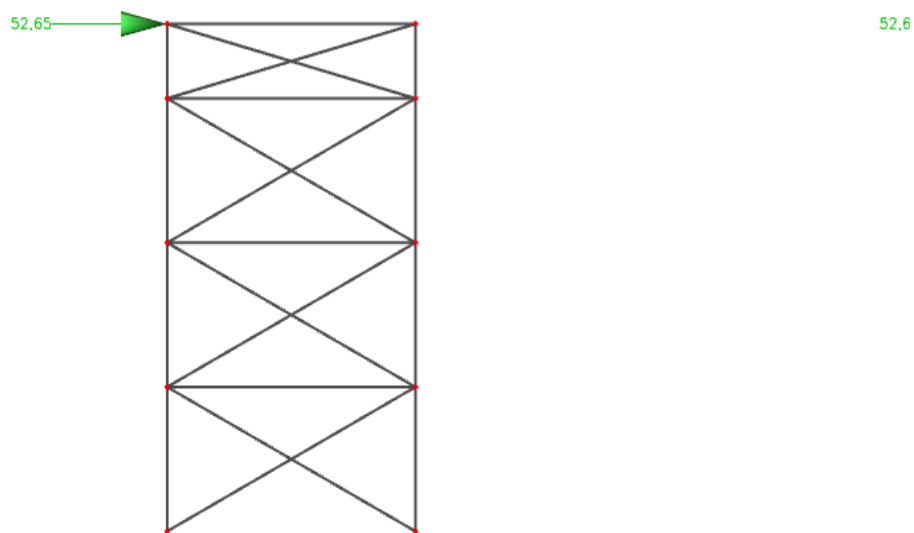


Slika 20 Reakcije horizontalnog sprega



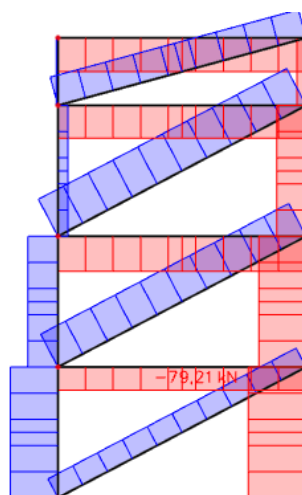
Slika 21 Dijagram uzdužnih sila

4.2.3. BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI



Slika 22 Djelovanje na bočni spreg

1D internal forces
Values: **N**
Linear calculation
Load case: zabat-opterećenje
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 23 Dijagram uzdužnih sila na bočni spreg

4.2.4. KROVNE PODROŽNICE

Djelovanja na krovnu podrožnicu:

$$\alpha = 5.14^\circ \quad l = 2.51 \text{ m}$$

STALNO OPTEREĆENJE (G)

$$g = 0.25 \text{ kN/m'}$$

$$G_y = g \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 0.62 \text{ kN/m'}$$

$$G_z = g \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.25 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.06 \text{ kN/m'}$$

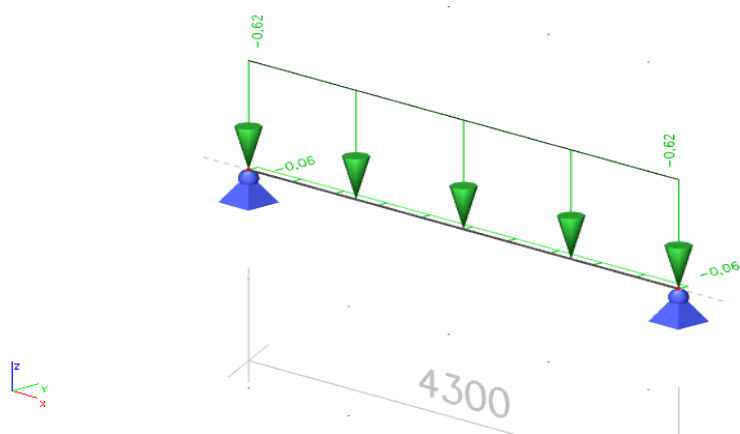
OPREREĆENJE SNIJEGOM (S)

$$S = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

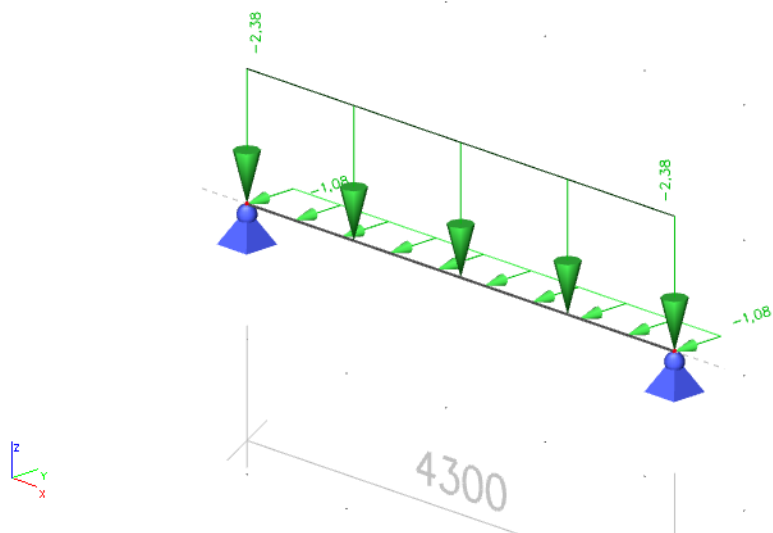
$$S_y = S \cdot l \cdot \cos \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \cos 5.14^\circ = 1.49 \text{ kN/m'}$$

$$S_z = S \cdot l \cdot \sin \alpha = 0.6 \cdot 2.51 \cdot \sin 5.14^\circ = 0.13 \text{ kN/m'}$$

G-djelovanje

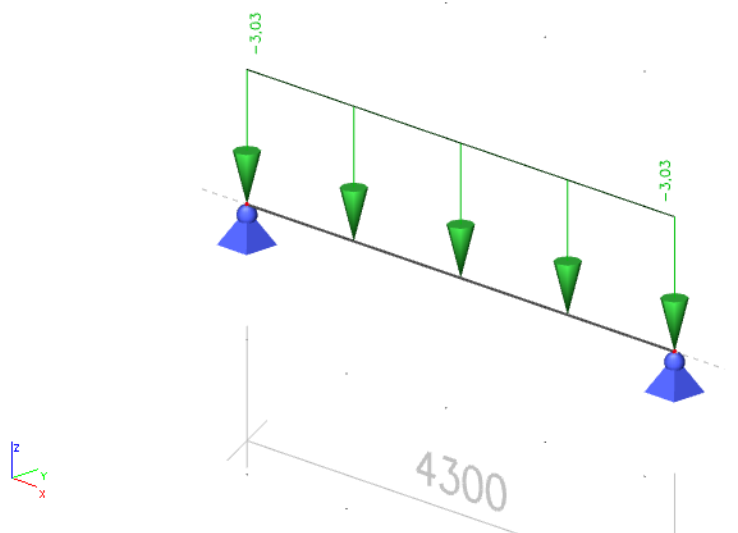


S-djelovanje

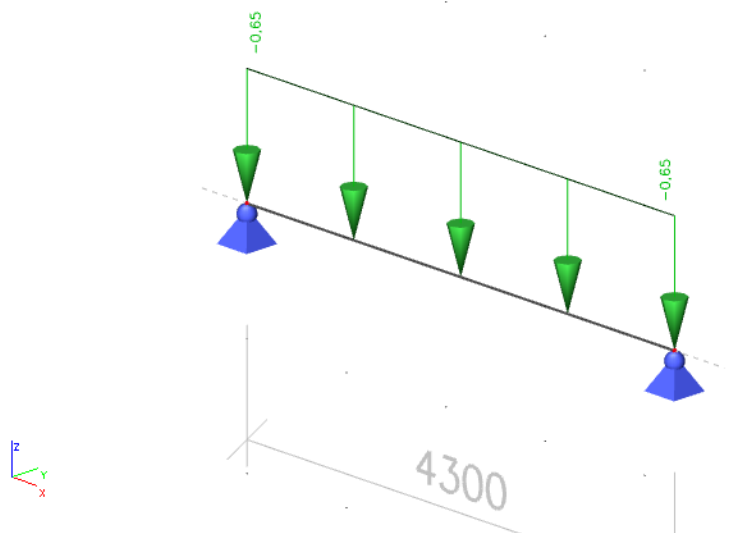


Slika 24 Djelovanja na krovnu podrožnicu

Opterećenje vjetrom W_1



Opterećenje vjetrom W_2

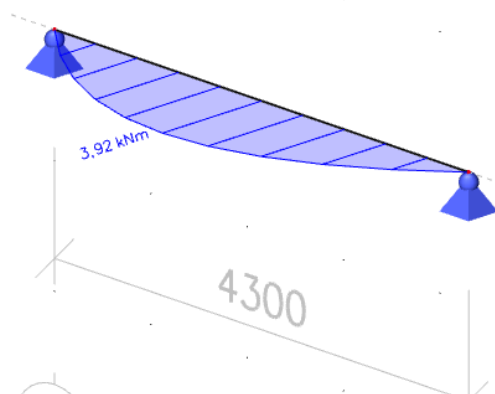


Slika 25 Djelovanje vjetra na krovne podrožnice

1. KOMBINACIJA 1.35(LC₁+G)+1.5S

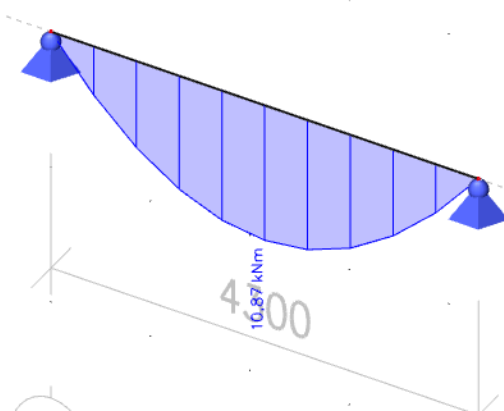
1D internal forces

Values: **M_z**
Linear calculation
Combination: k1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

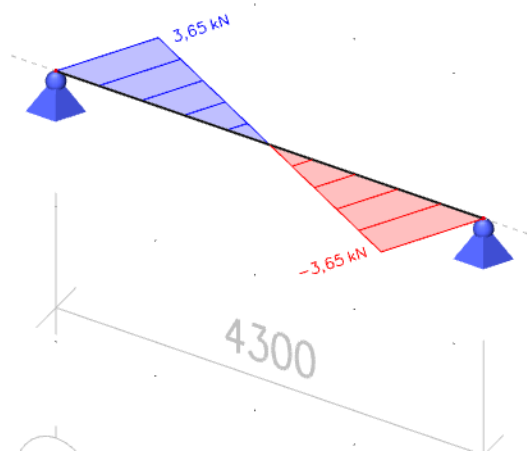
Values: **M_y**
Linear calculation
Combination: k1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 26 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 1

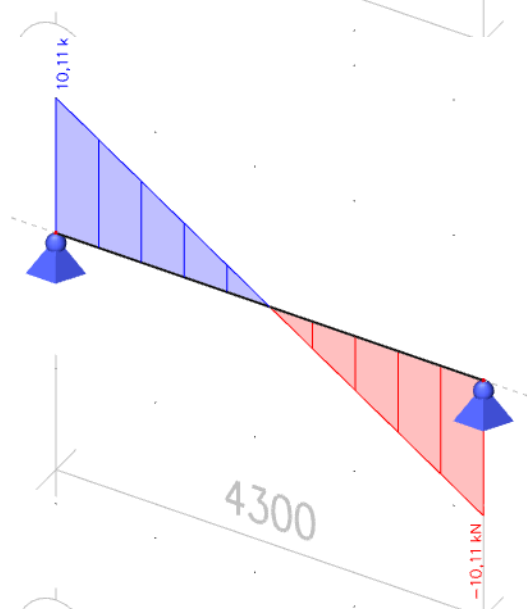
1D internal forces

Values: V_y
Linear calculation
Combination: k1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

Values: V_z
Linear calculation
Combination: k1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

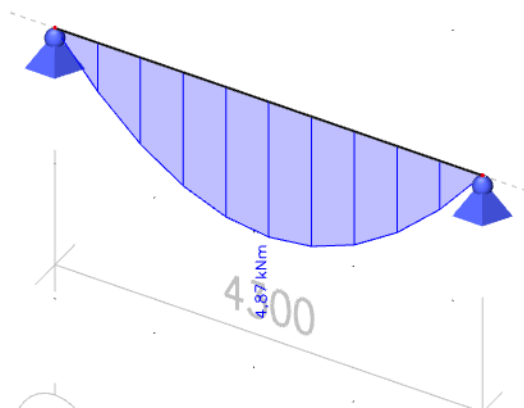


Slika 27 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 1

2. KOMBINACIJA $1.35(LC_1+G)+1.5W_2$

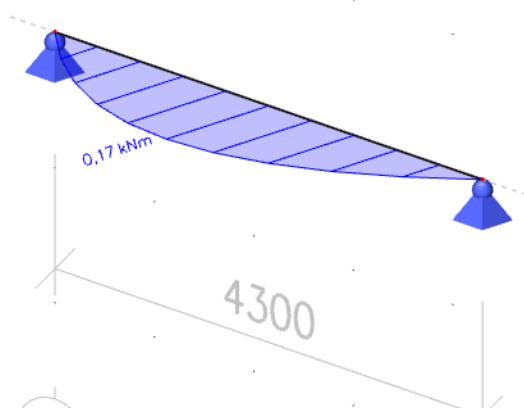
1D internal forces

Values: M_y
Linear calculation
Combination: k2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

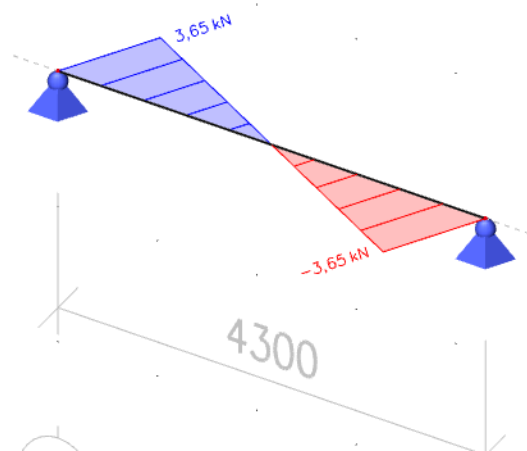
Values: M_z
Linear calculation
Combination: k2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 28 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 2

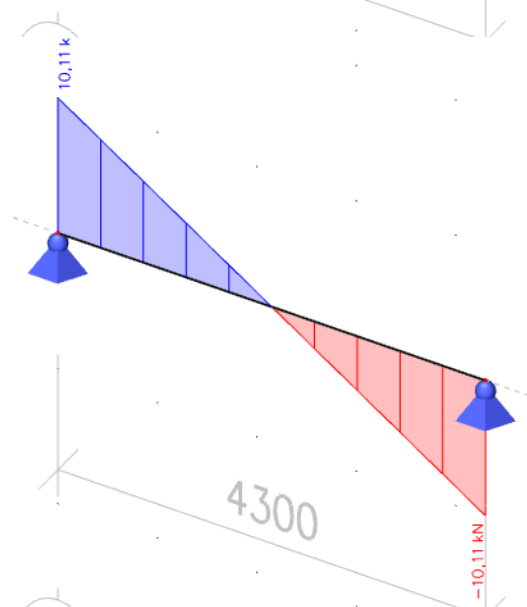
1D internal forces

Values: V_y
Linear calculation
Combination: k1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

Values: V_z
Linear calculation
Combination: k1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

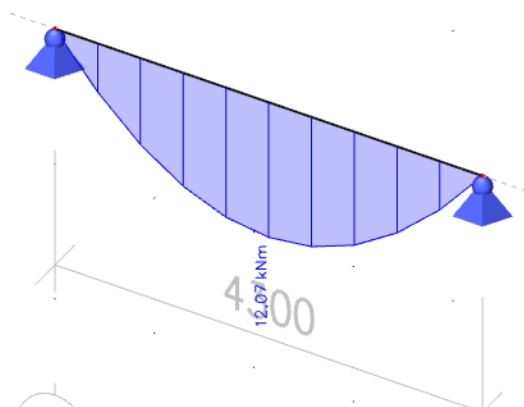


Slika 29 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 2

3. KOMBINACIJA $1.35(LC_1+G)+1.35(S+W_2)$

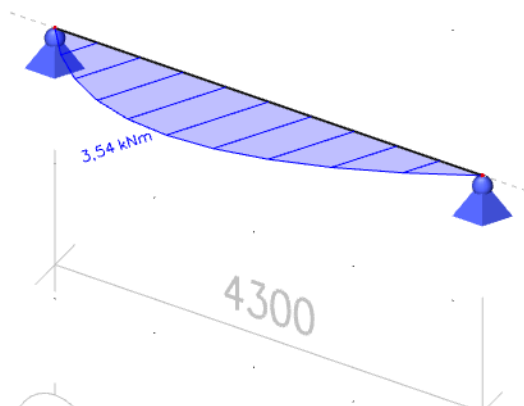
1D internal forces

Values: M_y
Linear calculation
Combination: k3
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

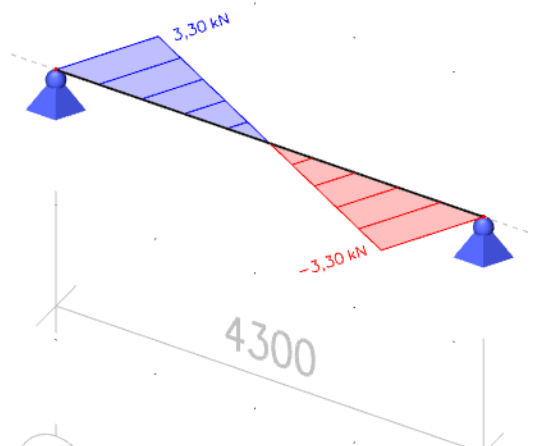
Values: M_z
Linear calculation
Combination: k3
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 30 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 3

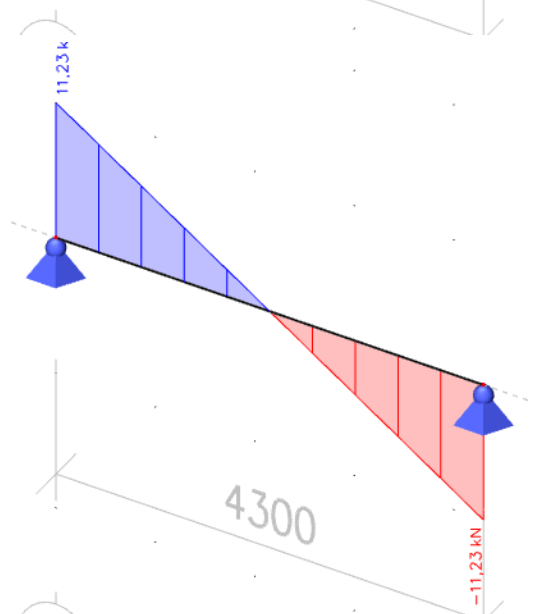
1D internal forces

Values: V_y
Linear calculation
Combination: k3
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

Values: V_z
Linear calculation
Combination: k3
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

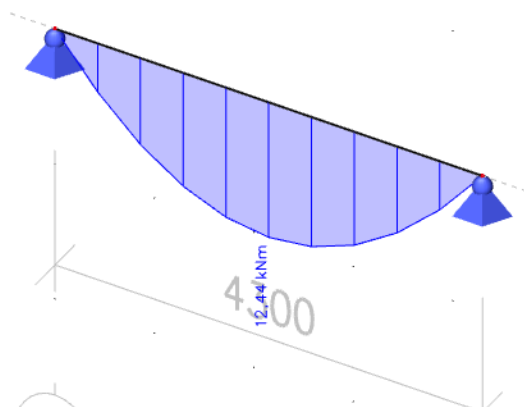


Slika 31 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 3

4. KOMBINACIJA $1.0(LC_1+G) + 1.5W_1$

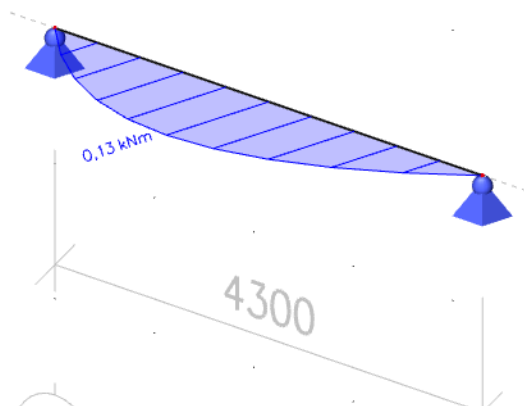
1D internal forces

Values: M_y
Linear calculation
Combination: k4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



1D internal forces

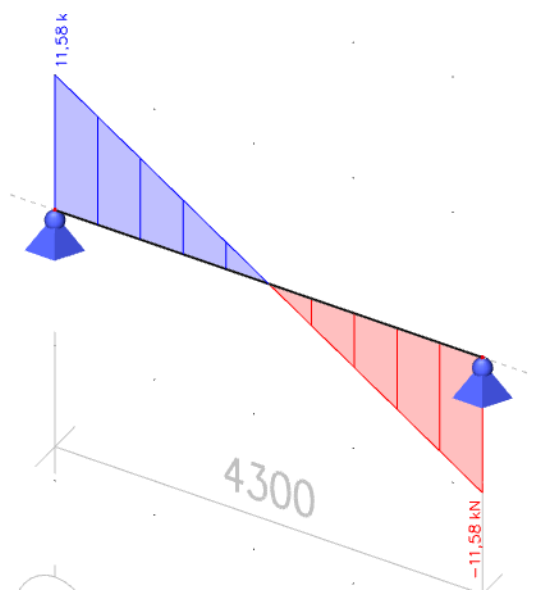
Values: M_z
Linear calculation
Combination: k4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 32 Dijagram momenata M_y i M_z za kombinaciju 4

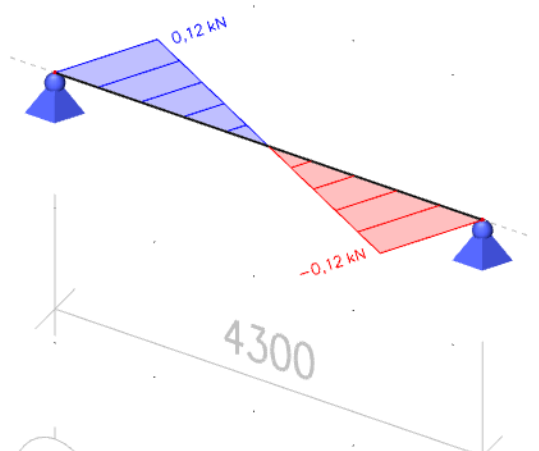
1D internal forces

Values: V_z
Linear calculation
Combination: k4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



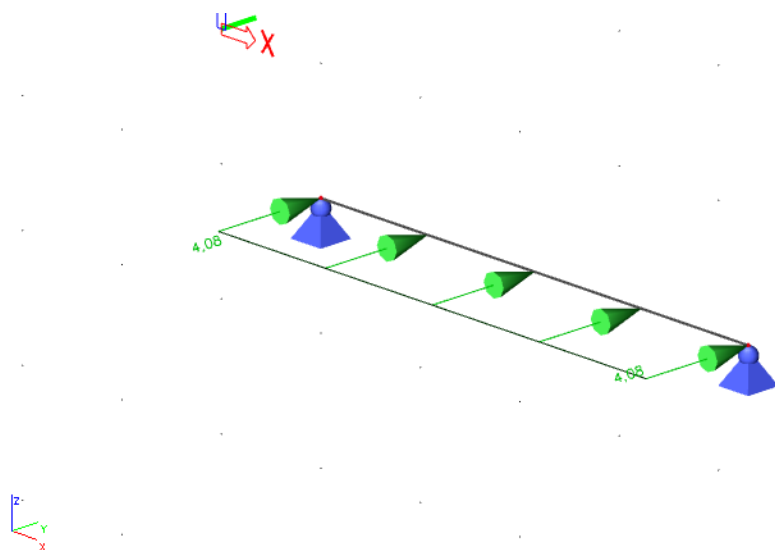
1D internal forces

Values: V_y
Linear calculation
Combination: k4
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

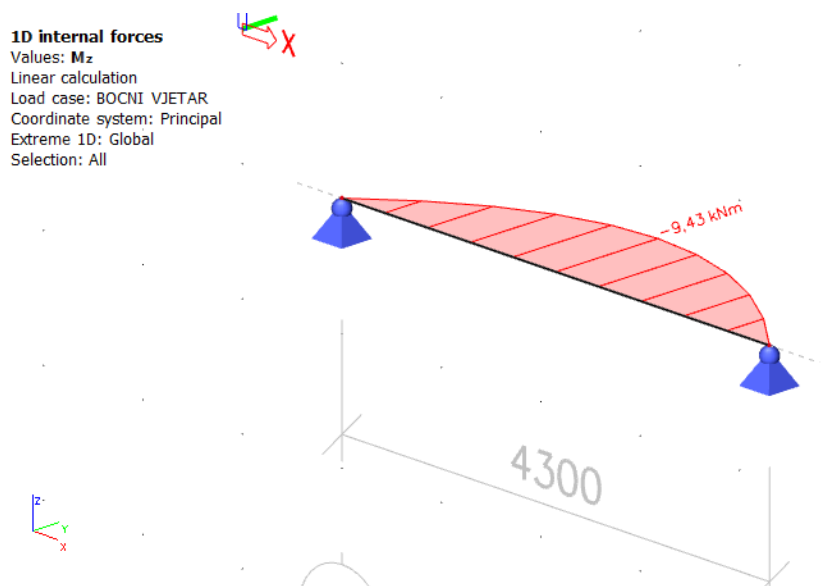


Slika 33 Dijagram poprečnih sila V_y i V_z za kombinaciju 4

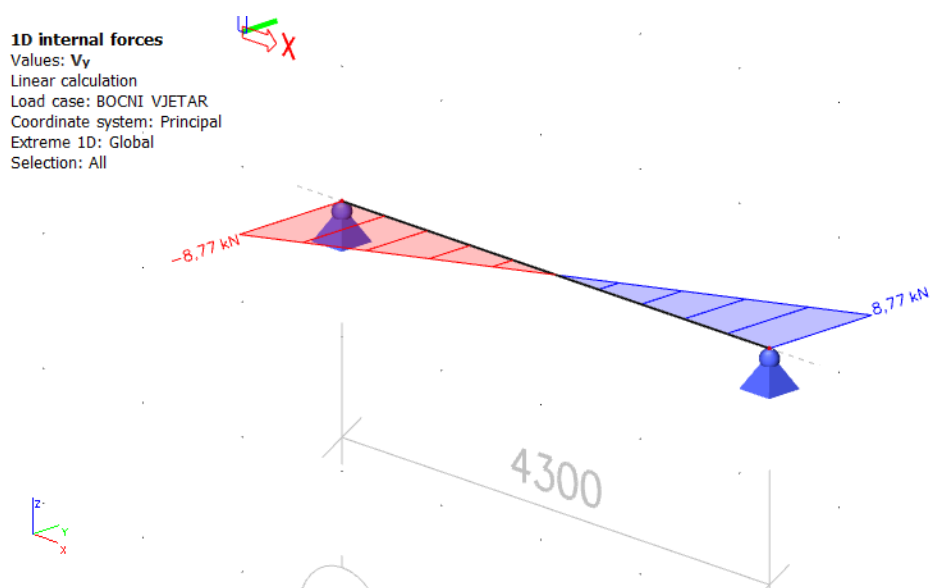
4.2.5. BOČNE PODROŽNICE



Slika 34 Djelovanje vjetra na bočnu podrožnicu



Slika 35 Dijagram momenata za djelovanje vjetra

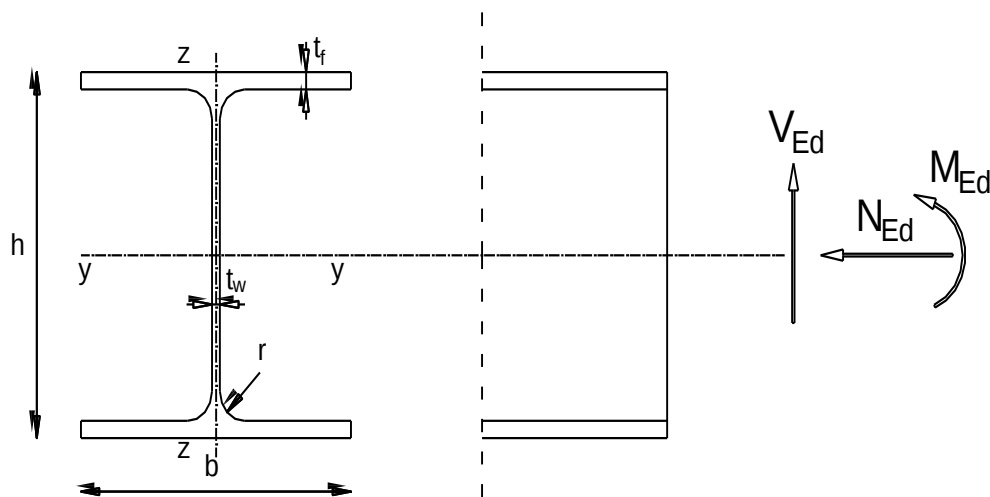


Slika 36 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

5. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1. GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1. DIMENZIONIRANJE STUPA



Slika 37 Poprečni presjek stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA280	Moment tromosti	$I_y=13\,700\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani		$I_z=4\,760\text{cm}^4$
Visina presjeka:	$h=270\text{mm}$	Moment otpora:	$W_{PL,y}=1112,5\text{cm}^3$;
Širina presjeka:	$b=280\text{mm}$		$W_{PL,z}=516,00\text{cm}^3$;
Debljina pojasnice:	$t_f=13\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=785\,370\text{cm}^6$
Debljina hrpta:	$t_w=8\text{mm}$		
Radijus:	$r=24\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=62,1\text{cm}^4$
Površina:	$A=97,3\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S355→	$f_y=275\text{N/mm}^2$
$M_{y,Ed}=$	92,96 kNm		$\epsilon=0.92$
$V_{z,Ed}=$	26,88 kN		$E=210\,000\text{ N/mm}^2$
$N_{Ed}=$	-134,76 kN		$\nu=0.3$

Tablica 12 Tablica karakteristika poprečnog presjeka stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 280 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 206 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{206}{8} = 22.89$$

$$22.89 \leq 72\varepsilon \rightarrow 24.89 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{280}{2} - \frac{8}{2} - 24 = 112.0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13} = 8.61$$

$$8.61 \leq 9\varepsilon \rightarrow 8.0 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97,3 \cdot 27.5}{1.00} = 2675,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2675,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 134,76 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1112,5 \cdot 27.5}{1.00} = 30593,7 \text{ kNcm} = 305,93 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 305.93 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 92,96 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 13}{8} = 30.5$$

$$30.5 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 97.3 - 2 \cdot 28 \cdot 1.3 + |0.8 + 2 \cdot 2.4| \cdot 1.3 = 28.66 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 27.8 \cdot 0.8 = 28.66 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{28.66 \left| 27.5 / \sqrt{3} \right|}{1.00} = 455.04 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 455.04 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 26.88 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA M-V-N

Presjek u $x=3,15\text{m}$ ($L=6,3$)

$$M_{Ed} = 46.5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 26.88 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = -134.76 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 455.04 = 227.5 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 26.88 \text{ kN} < 0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 227.5 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE OD POPREČNE SILE

$$1) N_{Ed} = 134.76 \leq 0.25 \cdot N_{Pl,Rd} = 0.25 \cdot 2675.75 = 668.94 \text{ kN}$$

$$2) N_{Ed} = 134.76 \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 27.8 \cdot 0.8 \cdot 27.5}{1.00} = 305.8 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVIJANJE

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG MOMENTU SAVIJANJA I UZDUŽNOJ SILI

Uzdužna tlačna otpornost

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASJE 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI $y - y$ I $z - z$, PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS $y - y$

$$L_{cr} = 2 \cdot 630\text{cm} = 1260\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 13\,700}{1260^2} = 1788.5\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{97.3 \cdot 27.5}{1788.5}} = 1.22$$

ZA VALJANI PROFIL $\rightarrow$

ZA OS $y - y$ KRIVULJA IZVIJANJA $b \rightarrow \alpha = 0.76$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.76 \cdot (1.22 - 0.2) + 1.22^2] = 1.63$$

$$\lambda_y = \frac{1}{1.63 + \sqrt{1.63^2 - 1.22^2}} = 0.37$$

OS z – z

$$L_{cr} = \frac{1}{3} \cdot 630 \text{ cm} = 210 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 4760}{210^2} = 22371,1 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{97,3 \cdot 27,5}{22371,1}} = 0,35$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → α = 0.76

$$\phi_y = 0,5[1 + 0,76 \cdot (0,35 - 0,2) + 0,35] = 0,73$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1,33 + \sqrt{1,33 - 1,03^2}} = 0,73$$

λ = λ_{min} = 0.37 → MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0,37 \cdot 97,3 \cdot 27,5}{1,0} = 990,03 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 990,03 \text{ kN} > N_{Ed} = 134,76 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

→ ELASTIČNI KRITIČNI MOMENT BOČNOG TORZIJSKOG IZVIJANJA

$$L = 210 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{27,0}{2} = 13,5 \text{ cm}$$

$$k = 1,0 \quad k_2 = 1,0$$

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

$$M_{cr} = 1.77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760}{|1.0 \cdot 210^2|} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{785370 \cdot 400}{4760} + \frac{|1.0 \cdot 210|^2 \cdot 8077 \cdot 621}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760} + |0 \cdot 13.5|^2 - 0 \cdot 13.5} \right]$$
$$M_{cr} = 205\,349.04 \text{ kNcm} = 205.35 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1112.5 \cdot 27.5}{205\,349.04}} = 0.38$$

Faktor redukcije

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} = 0.96 < 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.76$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.38 - 0.2) + 0.38] = 0.76$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.76 + \sqrt{0.76^2 - 0.38^2}} = 0.7 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.7 \frac{1112.5 \cdot 27.5}{1.00} = 213915.63 \text{ kNcm} = 213.92 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 213.92 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 92.96 \text{ kNm}$$

INTERAKCIJA M-N

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

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

$$\text{za } \bar{\lambda}_z = 0,98 \geq 0,4$$

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

$$\alpha_h = M_h / M_S = 0$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1 + (1,22 - 0,2) \cdot \frac{134,76}{0,37 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right] = 1,00 \leq 1,00 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{134,76}{0,37 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right]$$

$$= 1,00$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,03}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{134,76}{0,46 \cdot \frac{1788,5}{1,0}} \right] = 0,97 \geq \left[1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{134,76}{0,46 \cdot 1788,5 / 1,0} \right]$$

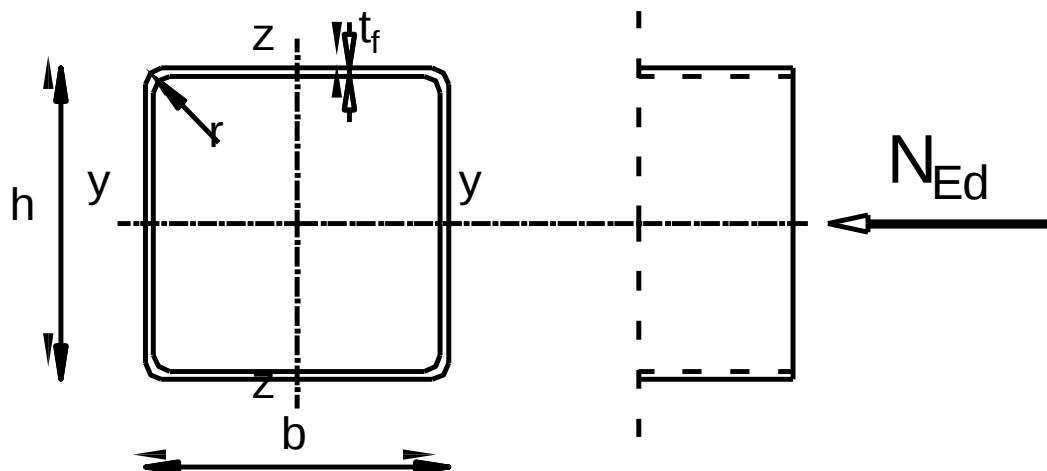
$$= 0,97$$

$$\frac{134,76}{0,37 \cdot 1788,5 / 1,0} + 1,00 \cdot \frac{92,96}{0,7 \cdot 213,92} = 0,82 \leq 1,0$$

$$\frac{134,76}{0,37 \cdot 1788,5 / 1,0} + 0,99 \cdot \frac{92,96}{0,7 \cdot 213,92} = 0,81 \leq 1,0$$

Odabrani profil HEA280, kvalitete čelika S 275 zadovoljava GSN i GSU sa iskoristivosti od $\eta=82\%$.

5.1.2. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA



Slika 38 Poprečni presjek gornjeg pojasa

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=676.8\text{cm}^4$ $I_z=676.8\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=264.35\text{cm}^3; W_y=226.08\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=264.35\text{cm}^3; W_z=226.08\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=16\,589\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=120\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=1162.9\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=8\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=33.64\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-565.54 kN(tlak)		

Tablica 13 Karakteristike poprečnog presjeka gornjeg pojasa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 8 = 104 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{104}{8} = 13$$

$$13 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33.64 \cdot 27.5}{1.0} = 925.1 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 925.1 \text{ kN} > N_{Ed} = 565.54 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

S OBZIROM DA JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI $y - y$ I
 $z - z$, PRORAČUN JE DOVOLJNO NAPRAVITI ZA JEDNU OS

OS y – y

$$L_{cr} = 251\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 676.8}{251^2} = 2226.5\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{33.64 \cdot 27.5}{2226.5}} = 0.64$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA a → $\alpha = 0.76$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.87$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.87 + \sqrt{0.87^2 - 0.76^2}} = 0.77$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.77 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.77 \cdot 36.64 \cdot 27.5}{1.0} = 775.85\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 775.85\text{kN} > N_{Ed} = 565.54\text{kN}$$

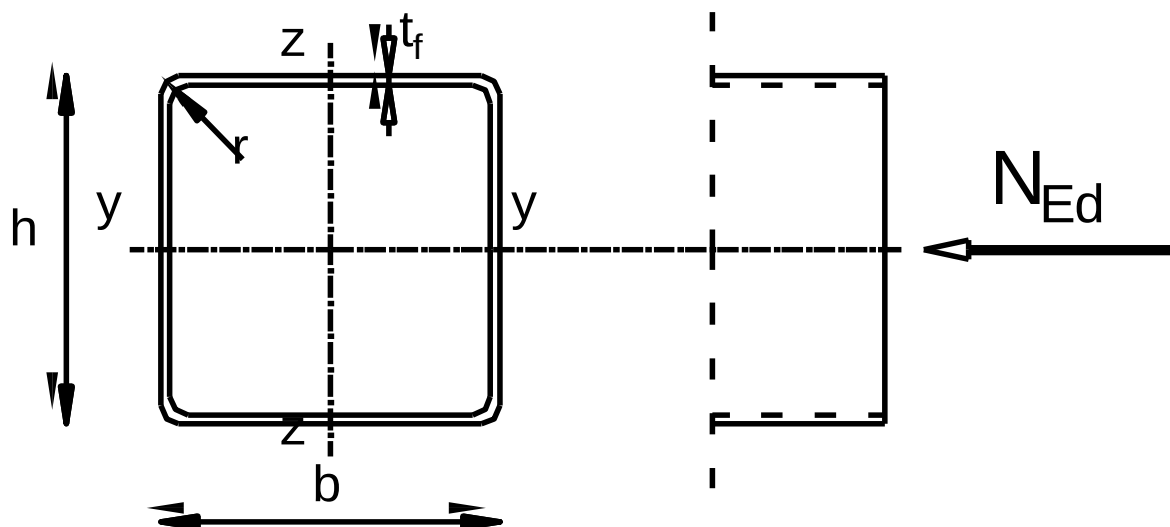
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{565,54}{775,85} = 0.73 \rightarrow \eta = 73\%$$

Odabrani profil CFRHS 120x120x8.0, kvalitete čelika S 355, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 73%.

Otpornost poprečnog presjeka izložnog sili:

Gornji pojas je izloženij tlačnoj sili u svim kombinaciji ,za koje je 2, kombinacija najnepovoljniji slučaj $N_{Ed}=565.54\text{kN}$.

5.1.3. DIMENZIONIRANJE DONJEGA POJASA



Slika 39 Poprečni presjek donjega pojasa

Karakteristike presjeka Tablica 14 Karakteristike poprečnog presjeka donjeg pojasa			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=676,8\text{cm}^4$ $I_z=676,8\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=137,8\text{cm}^3; W_y=226,08\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=137,8\text{cm}^3; W_z=226,08\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=16\,589\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=120\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=1\,162,9\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=8\text{mm}$		
Radijus:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=33,64\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0,92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0,3$
$N_{Ed}=$	-551,87 kN		

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 8 = 104 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{104}{8} = 13$$

$$13 \leq 72\varepsilon \rightarrow 28 \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33.64 \cdot 27.5}{1.0} = 925.1 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 925.1 \text{ kN} > N_{Ed} = 551.87 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

S OBZIROM DA SU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI $y - y$ I
 $z - z$, PRORAČUN JE DOVOLJNO NAPRAVITI ZA JEDNU OS

OS y – y

$$L_{cr} = 250\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 676.8}{250^2} = 2244.4\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{33.83 \cdot 27.5}{2244.4}} = 0.64$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA $\alpha \rightarrow \alpha = 0.76$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64^2] = 0.87$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.87 + \sqrt{0.87^2 - 0.64^2}} = 0.68$$

$\lambda = \lambda_{min} = 0.68 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJE VRIJEDNOST

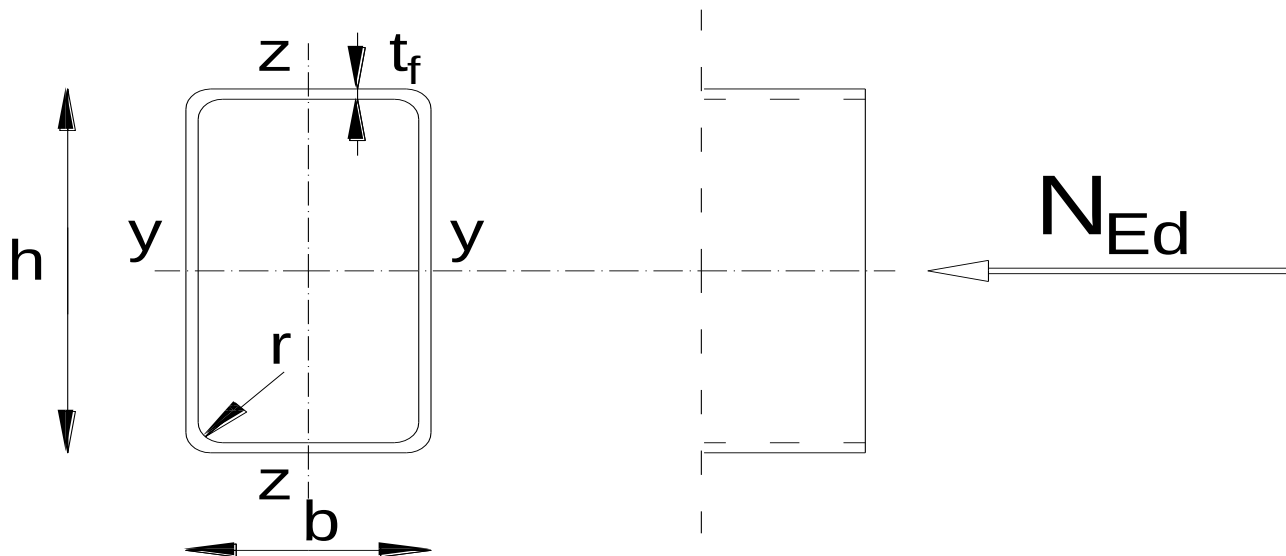
$$N_{b,Rd} = \frac{0.68 \cdot 33.64 \cdot 27.5}{1.0} = 629.1\text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 629,1\text{kN} > N_{Ed} = 551,87\text{kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{551,87}{629,1} = 0.88 \rightarrow \eta = 88\%$$

Odabrani profil CFRHS 120x120x8.0, kvalitete čelika S 275, zadovoljavaju provjeru otpornosti, s iskoristivosti od 88%.

5.1.4. DIMENZIONIRANJE VERTIKALA



Slika 40 Poprečni presjek vertikal

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=353.14\text{cm}^4$ $I_z=187.78\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=72.45\text{cm}^3; W_y=102.89\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=54.74\text{cm}^3; W_z=74.78\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=3840\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=80\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=402.27\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radijus:	$r=5\text{mm}$		
Površina:	$A=18.36\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.76$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-85.19 kN		

Tablica 15 Karakteristike poprečnog presjeka vertikal

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 5 = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{5} = 22$$

$$22 \leq 72\varepsilon \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 85.19 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI $y - y$ I
 $z - z$, PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

$$L_{cr} = 73,4\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 353.14}{73,4^2} = 13\,585,44\text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{13\,585,44}} = 0.19$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0.49$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.19 - 0.2) + 0.19^2] = 0.51$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.51 + \sqrt{0.51^2 - 0.19^2}} = 1.01$$

OS z – z

$$L_{cr} = 73,4\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 187.78}{73,4^2} = 7223.98\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{7223.98}} = 0.26$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA C → $\alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.26 - 0.2) + 0.26^2] = 1,1$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.1 + \sqrt{1.1^2 - 0.26^2}} = 0.46$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.46 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.46 \cdot 18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 232.25 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 232.25 \text{ kN} > N_{Ed} = 85.19 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{85.19}{232.25} = 0.37 \rightarrow \eta = 37\%$$

Poprečni presjek CFRHS 120x80x5, kvalitete čelika S275, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) i zbog uvjeta $b_{\text{donjeg pojasa}} = h_{\text{vertikale}}$.

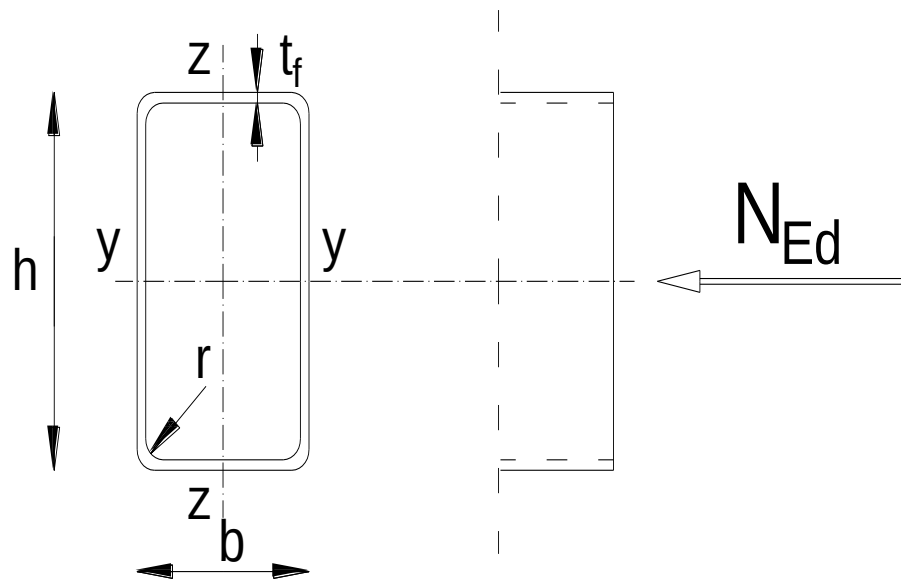
Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

Vertikalni element (centralni stup rešetke) je izloženoj vlačnoj sili u kombinaciji 2 u iznosu od $N_{Ed} = 63.87 \text{ kN}$.

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 63.87 \text{ kN}$$

5.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA



Slika 41 Poprečni presjek dijagonala

Karakteristike presjeka			
Profil:	CFRHS	Moment tromosti	$I_y=353.14\text{cm}^4$ $I_z=187.78\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=72.45\text{cm}^3; W_y=102.89\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=54.74\text{cm}^3; W_z=74.78\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=120\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=3840\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=80\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=402.27\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=5\text{mm}$		
Radijus:	$r=5\text{mm}$		
Površina:	$A=18.36\text{ cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$N_{Ed}=$	-60.37kN		

Tablica 16 Karakteristike poprečnog presjeka dijagonala

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$c = h - 2t_f = 120 - 2 \cdot 5 = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{5} = 22$$

$$22 \leq 72\varepsilon \rightarrow 22 \rightarrow 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{PRESJEK ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PREJSEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 60.37 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\lambda \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \rightarrow \text{ZA PRESJEKE KLASA 1,2,3}$$

$$\lambda = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

S OBZIROM DA NISU JEDNAKE MOGUĆNOSTI IZVIJANJA OKO OSI $y - y$ I
 $z - z$, PRORAČUN JE POTREBNO NAPRAVITI ZA SVAKO OS POSEBNO

OS y – y

$$L_{cr} = 255\text{cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 353.14}{255^2} = 1125.6\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{1125.6}} = 0.67$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS z – z KRIVULJA IZVIJANJA c → $\alpha = 0.49$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.67 - 0.2) + 0.67^2] = 0.84$$

$$\lambda_y = \frac{1}{0.84 + \sqrt{0.84^2 - 0.67^2}} = 0.74$$

OS z – z

$$L_{cr} = 255\text{cm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 187.78}{255^2} = 598.53\text{kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18.36 \cdot 27.5}{598.53}} = 0.92$$

ZA VALJANI PROFIL →

ZA OS y – y KRIVULJA IZVIJANJA b → $\alpha = 0.49$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49 \cdot (0.92 - 0.2) + 0.92^2] = 1.1$$

$$\lambda_z = \frac{1}{1.1 + \sqrt{1.1^2 - 0.92^2}} = 0.59$$

$\lambda = \lambda_{\min} = 0.59 \rightarrow$ MJERODAVNA JE MANJA VRIJEDNOST

$$N_{b,Rd} = \frac{0.59 \cdot 18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 297.9 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 297.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 60.37 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{60.37}{297.9} = 0.20 \rightarrow \eta = 20\%$$

Poprečni presjek CFRHS 120x80x5.0, kvalitete čelika S275, zadovoljava GSN (sa malom iskoristivosti), ali poprečni presjek je mjerodavan za dimenzioniranje zbog veličine vertikalnih progib (GSU) i zbog uvjeta $b_{\text{donjeg pojasa}} = h_{\text{vertikale}}$.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

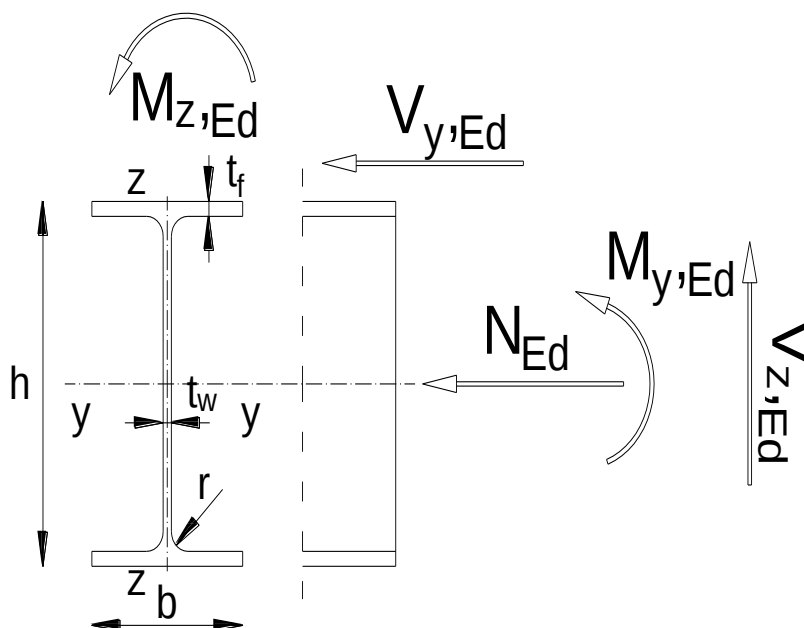
Gornji pojas je izložen vlačnoj sili u kombinaciji 2 u iznosu od $N_{Ed} = 308.93 \text{ kN}$.

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18.36 \cdot 27.5}{1.0} = 504.9 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 504.9 \text{ kN} > N_{Ed} = 308.93 \text{ kN}$$

5.2. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.2.1. KROVNE PODROŽNICE



Slika 42 Poprečni presjek krovne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE 200	Moment tromosti	$I_y=1943\text{cm}^4$ $I_z=142\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=221\text{cm}^3$; $W_y=282\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=44,6\text{cm}^3$; $W_z=42.8\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=200\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=13\,000\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=6.98\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=9\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=6\text{mm}$		
Radius:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=28.5\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=$	12,44Nm		
$M_{z,Ed}=$	0.13kNm		
$V_{y,Ed}=$	0.12kN		
$V_{z,Ed}=$	11.58kN		

Tablica 17 Karakteristike poprečnog presjeka krovne podrožnice

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 200 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26.33$$

$$26.33 \leq 72\varepsilon \rightarrow 26.33 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{100}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 35.0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35.0}{9} = 3.9$$

$$3.9 \leq 9\varepsilon \rightarrow 3.9 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost presjeka izloženog savijanju

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 6077.5 \text{ kNcm} = 60.77 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 60.77 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.44 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \cdot 27.5}{1.00} = 1226.5 \text{ kNcm} = 12.26 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 12.26 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0.13 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30.33$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$30.33 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ = 28,5 - 2 \cdot 10 \cdot 0,9 + |0,6 + 2 \cdot 1,2| \cdot 0,9 = 13,2 \text{ cm}^2 \geq 1,20 \cdot 20 \cdot 0,6 = 14,4 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{13,2 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 209,6 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 209,6 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 11,58 \text{ kN}$$

U smjeru y-y

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,z} = A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ = 28,5 - 20 \cdot 0,6 = 16,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{16,5 |27,5/\sqrt{3}|}{1,00} = 261,97 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 261,97 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0,12 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 430\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{200}{2} = 10.0\text{cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{|1.0 \cdot 430|^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{26800}{142} + \frac{|1.0 \cdot 430|^2 \cdot 8077 \cdot 6.98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}} + |0.454 \cdot 10.0|^2 - 0.454 \cdot 10.0 \right]$$

$$M_{cr} = 1991.91 \text{ kNcm} = 19.91 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 \cdot 27.5}{1991.91}} = 1.74 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.74 - 0.2) + 1.74^2] = 2.18$$

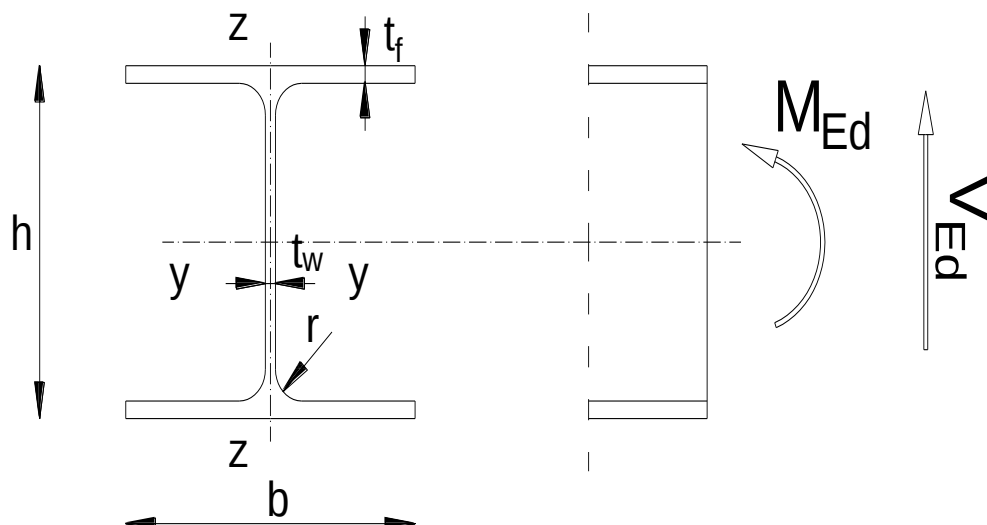
$$\lambda_{LT} = \frac{1}{2.18 + \sqrt{2.18^2 - 1.74^2}} = 0.29 \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.29 \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 1762.7 \text{ kNcm} = 17.62 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 17.62 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.44 \text{ kNm}$$

Profil IPE 220, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od $\eta=71\%$.

5.2.2. ZABATNI STUPOVI



Slika 43 Poprečni presjek zabatnog stupa

Karakteristike presjeka			
Profil:	HEA280	Moment tromosti	$I_y=13700\text{cm}^4$ $I_z=4760\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=112,5.97\text{cm}^3$; $W_y=389\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=516.00\text{cm}^3$; $W_z=134\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=270\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=785\,370\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=280\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=621\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=13\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=8\text{mm}$		
Radius:	$r=24\text{mm}$		
Površina:	$A=97.3\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal S275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=$	50.18 kNm		
$V_{z,Ed}=$	25.19 kN		

Tablica 18 Karakteristike poprečnog presjeka zabatnog stupa

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 280 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 206\text{mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{206}{8} = 22.89$$

$$22.89 \leq 72\varepsilon \rightarrow 24.89 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{280}{2} - \frac{8}{2} - 24 = 112.0\text{mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{112}{13} = 8.61$$

$$8.61 \leq 9\varepsilon \rightarrow 8.0 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA NE ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

$$8.61 \leq 10\varepsilon \rightarrow 8.61 \leq 10 \cdot 0.92 = 9.2 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 2}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 2.

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{97,3 \cdot 27.5}{1.00} = 2675,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 2675,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 134,76 \text{ kN}$$

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1112,5 \cdot 27.5}{1.00} = 30593,7 \text{ kNcm} = 305,93\text{kNm}$$

$$M_{c,Rd} = 305.93\text{kNm} > M_{y,Ed} = 92,96\text{kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 13}{8} = 30.5$$

$$30.5 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IZBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 97.3 - 2 \cdot 28 \cdot 1.3 + |0.8 + 2 \cdot 2.4| \cdot 1.3 = 28.66 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 27.8 \cdot 0.8 = 28.66 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{28.66 \left| \frac{27.5}{\sqrt{3}} \right|}{1.00} = 455.04 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 455.04 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 25.19 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA M-N

Presjek u $L/4=1.99$

$$0.5 \cdot V_{Pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 455.04 = 227.52 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 25.19 < 227.52 \text{ kN}$$

→ NEMA REDUKCIJE OTPORNOSTI NA SAVJIANJE OD UZDUŽNE SILE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,v,Rd}} = \frac{25.19}{227.52} = 0.12 < 1$$

OTPORNOST ELEMENTA NA SAVIJANJE

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

$$L = 797 \text{ cm} \quad G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{270}{2} = 13.5 \text{ cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760}{|1.0 \cdot 797|^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{108\,000}{4760} + \frac{|1.0 \cdot 797|^2 \cdot 8077 \cdot 621}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4760} + |0.454 \cdot 13.5|^2} - 0.454 \cdot 13.5 \right]$$

$$M_{cr} = 89\,667.23 \text{ kNcm} = 89.67 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1112.5 \cdot 27.5}{89\,667.23}} = 0.58 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

FAKTOR REDUKCIJE

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} = 0.96 < 1.2 \rightarrow \text{VALJANI PROFIL } d \rightarrow \alpha = 0.76$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.76 \cdot (0.58 - 0.2) + 0.58^2] = 0.81$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{0.81 + \sqrt{0.81^2 - 0.58^2}} = 0.73 \leq 1.0$$

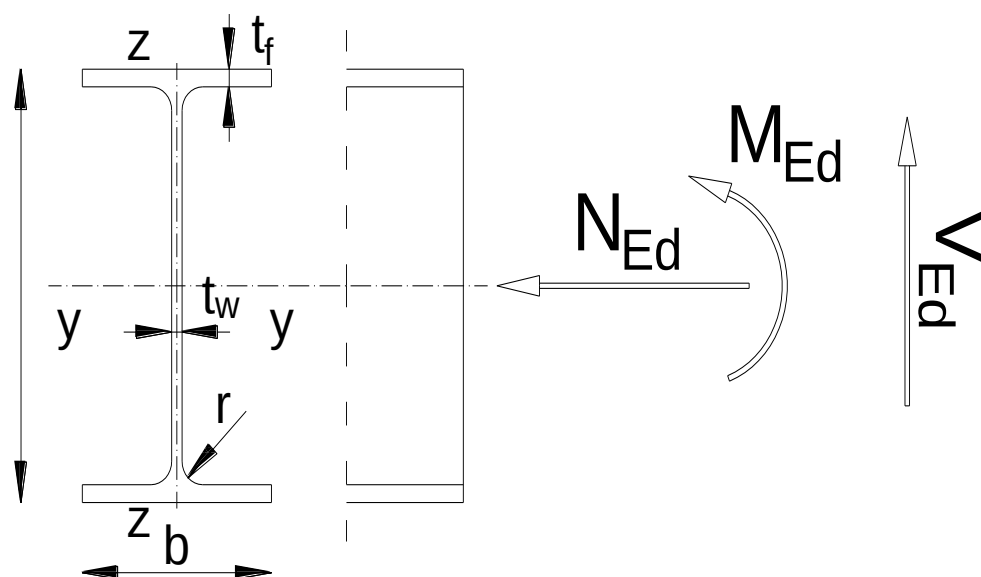
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.73 \frac{1112.5 \cdot 27.5}{1.00} = 220333.43 \text{ kNcm} = 220.3 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 220.3 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 50.18 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{50.18}{220.3} = 0.23 < 1.0$$

Profil HEA200, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti od 23%.

5.2.3. DIMENZIONIRANJE BOČNIH PODROŽNICA



Slika 44 Poprečni presjek bočne podrožnice

Karakteristike presjeka			
Profil:	IPE200	Moment tromosti	$I_y=1943\text{cm}^4$ $I_z=142,0\text{cm}^4$
Tip presjeka:	Valjani	Moment otpora:	$W_{PL,y}=221,0\text{ cm}^3$; $W_y=252\text{cm}^3$ $W_{PL,z}=44.6\text{cm}^3$; $W_z=37.3\text{cm}^3$
Visina presjeka:	$h=200\text{mm}$	Konstanta krivljenja:	$I_w=13\ 000\text{cm}^6$
Širina presjeka:	$b=100\text{mm}$	Torzijska konstanta:	$I_t=6.98\text{cm}^4$
Debljina pojasnice:	$t_f=9\text{mm}$		
Debljina hrpta:	$t_w=6\text{mm}$		
Radius:	$r=12\text{mm}$		
Površina:	$A=28.5\text{cm}^2$		
Ulazni podaci (rezne sile)		Materijal 275→	$f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\ 000\ \text{N/mm}^2$ $\nu=0.3$
$M_{y,Ed}=$	9,43 kNm		
$V_{z,Ed}=$	8.77 kN		
	-		

Tablica 19 Karakteristike poprečnog presjeka bočne podrožnice

KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat:

$$d = h - 2t_f - 2r = 200 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 12 = 158 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26.33$$

$$26.33 \leq 72\varepsilon \rightarrow 26.33 \leq 72 \cdot 0.92 = 66.24 \rightarrow \text{HRBAT ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{100}{2} - \frac{6}{2} - 12 = 35.0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35.0}{9} = 3.9$$

$$3.9 \leq 9\varepsilon \rightarrow 3.9 \leq 9 \cdot 0.92 = 8.28 \rightarrow \text{POJASNICA ZADOVOLJAVA KLASU 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U KLASU 1

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Otpornost presjeka izloženog savijanju

Os y-y

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 6077.5 \text{ kNcm} = 60.77 \text{ kNm}$$

$$M_{c,y,Rd} = 60.77 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 12.44 \text{ kNm}$$

Os z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \cdot 27.5}{1.00} = 1226.5 \text{ kNcm} = 12.26 \text{ kNm}$$

$$M_{c,z,Rd} = 12.26 \text{ kNm} > M_{z,Ed} = 0.13 \text{ kNm}$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru z-z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30.33$$

→ NIJE POTREBNA PROVJERA IBOČAVANJA HRPTA NA POSMIK

$$30.33 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0.92}{1.20} = 55.2$$

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - 2bt_f + |t_w + 2r|t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \\ &= 28.5 - 2 \cdot 10 \cdot 0.9 + |0.6 + 2 \cdot 1.2| \cdot 0.9 = 13.2 \text{ cm}^2 \geq 1.20 \cdot 20 \cdot 0.6 = 14.4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = \frac{13.2 |27.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 209.6 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,z,Rd} = 209.6 \text{ kN} > V_{z,Ed} = 11.58 \text{ kN}$$

U smjeru y-y

$$V_{Pl,Rd} = \frac{A_v \left| \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right|}{\gamma_{M0}}$$

$$\begin{aligned} A_{v,z} &= A - \Sigma h_w \cdot t_w \\ &= 28.5 - 20 \cdot 0.6 = 16.5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = \frac{16.5 |27.5/\sqrt{3}|}{1.00} = 261.97 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,y,Rd} = 261.97 \text{ kN} > V_{y,Ed} = 0.12 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$L = 430\text{cm} \quad G = 8077\text{kN/cm}^2$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{200}{2} = 10.0\text{cm}$$

$$k = 1.0 \quad k_2 = 1.0$$

$$C_1 = 1.127 \quad C_2 = 0.454$$

$$M_{cr} = 1.127 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{|1.0 \cdot 430|^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1.0}{1.0}\right)^2 \cdot \frac{26800}{142} + \frac{|1.0 \cdot 430|^2 \cdot 8077 \cdot 6.98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}} + |0.454 \cdot 10.0|^2 - 0.454 \cdot 10.0 \right]$$

$$M_{cr} = 1991.91 \text{ kNcm} = 19.91 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\text{ZA KLASU 1 I 2 } W_y = W_{pl,y}$$

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{221 \cdot 27.5}{1991.91}} = 1.74 > \overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

Faktor redukcije

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2 \text{ VALJANI PROFIL } a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21 \cdot (1.74 - 0.2) + 1.74^2] = 2.18$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1}{2.18 + \sqrt{2.18^2 - 1.74^2}} = 0.29 \leq 1.0$$

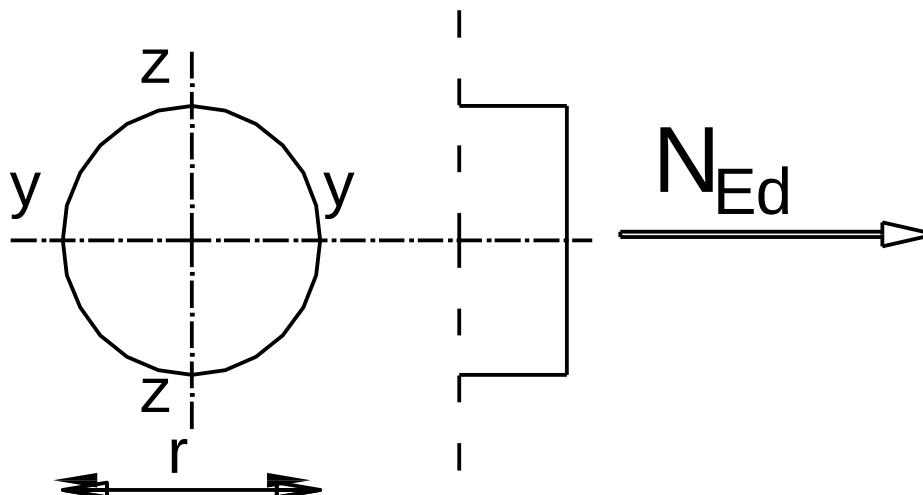
$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.29 \frac{221 \cdot 27.5}{1.00} = 1762.7 \text{ kNcm} = 17.62 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 17.62 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 9.43 \text{ kNm}$$

Profil IPE 220, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjere otpornosti na raznini elementa s iskoristivosti od $\eta=54\%$.

5.2.4. DIMENZIONIRANJE SPREGOVA

5.2.4.1. HORIZONTALNI SPREG



Slika 45 Poprečni presjek sprega

Karakteristike presjeka: RD 20 $A=3.14\text{cm}^2$	Materijal S275 $\rightarrow f_y=275\text{N/mm}^2$ $\epsilon=0.92$ $E=210\,000\text{ N/mm}^2$ $\nu=0.3$
Ulazni podaci: $N_{Ed}=28.41\text{ kN}$	

Tablica 20 Karakteristike poprečnog presjeka sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3.14 \cdot 275}{1.0} = 86.35\text{kN}$$

$$N_{c,Rd} = 86.35\text{kN} > N_{Ed} = 28.41\text{kN}$$

$$\eta = \frac{28.41}{86.35} = 0.33 < 1.0$$

Profil RD 20, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od $\eta=33\%$.

5.2.4.2. DIMENZIONIRANJE BOČNOG SPREGA

Karakteristike presjeka: RD 20 A=3.14cm ²	Materijal S275 → f _y =275N/mm ² ε=0.92 E=210 000 N/mm ² ν=0.3
Ulazni podaci: N _{Ed} =57.33 kN	

Tablica 21 Karakteristike poprečnog presjeka bočnog sprega

OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA IZLOŽENOG VLAĆNOJ UZDUŽNOJ SILI

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,14 \cdot 27,5}{1,0} = 86,35 \text{ kN}$$

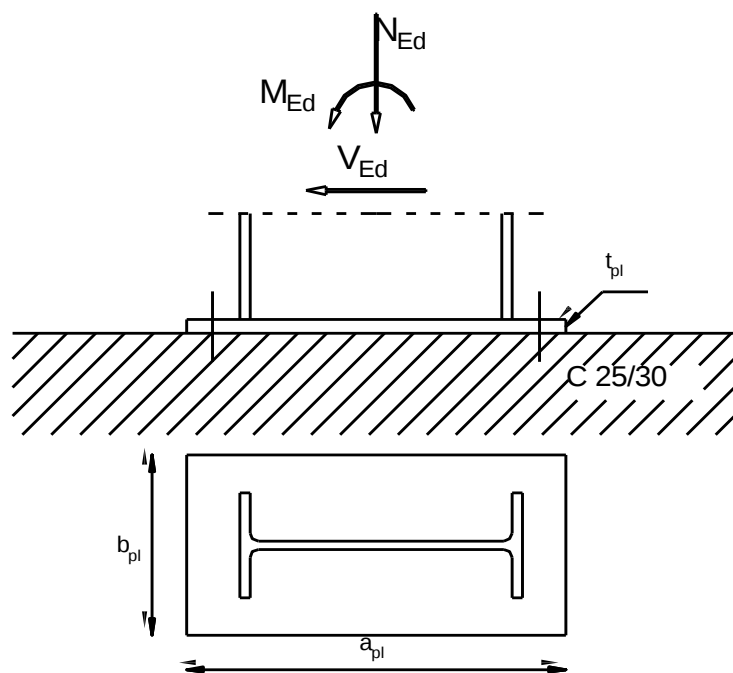
$$N_{c,Rd} = 86,35 \text{ kN} > N_{Ed} = 57,33 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{57,33}{86,35} = 0,64 < 1,0$$

Profil RD 20, kvalitete čelika S275, zadovoljava provjeru otpornosti, na razini elementa, s iskoristivosti od η=64%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1. SPOJ STUP-TEMELJ



Slika 46 Spoj stup-temelj

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (STUP, HEA 280)	
$M_{Ed} =$	94.02 kNm	Osnovni materijal S275	$h =$	270 mm
$V_{Ed} =$	27.62 kN	Vijci k.v. 10.9	$b =$	280 mm
$N_{Ed} =$	-52.92 kN		$t_w =$	8 mm
			$t_f =$	13 mm
			$A =$	97,3 cm ²

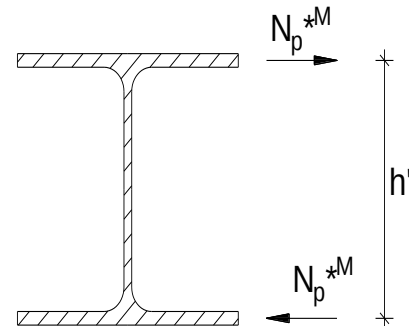
Tablica 22 Tablica karakteristika spoja stup-temelj

Veličine djelovanja su dobivene za istu kritičnu kombinaciju kao i kod graničnog stanja uporabljivosti.

RASPODJELA SILA PO PRESJEKU NOSAČA:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja:



$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{92.02}{(0.20 - 0.016)} = 500.1 \text{ kN}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{20 \cdot 1.3}{97.3} \cdot (-52.92) = -14.14 \text{ kN}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 500.1 - 14.14 = 485.96 \text{ kN} = F_{w,Ed}$$

KONTROLA VAROVA:

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot b = 2 \cdot 280 = 560 \text{ mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot (h - 2t_f) = 2 \cdot (270 - 2 \cdot 13) = 488 \text{ mm}$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 8 = 5.6 \text{ mm}$$

Za pretpostavljeni var $a = 6 \text{ mm}$

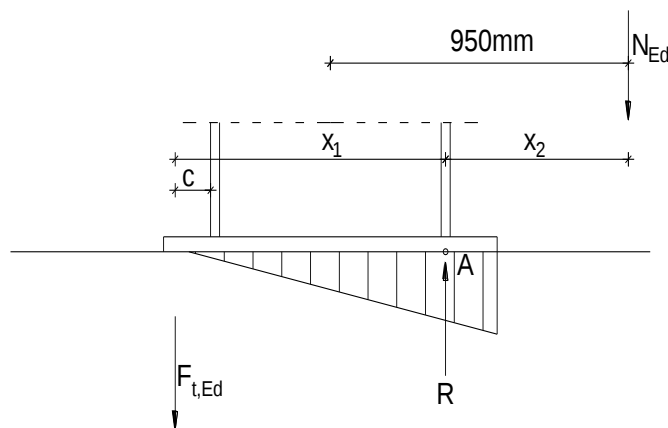
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{175.2}{1.25} \cdot \frac{560}{100} = 784.9 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 485.96 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{175.2}{1.25} \cdot \frac{488}{100} = 685.15 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 27.62 \text{ kN}$$

PRORAČUN VIJAKA



Uz pretpostavku vijaka M-22 udaljenost c_{min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 6\sqrt{2} = 52.49 \text{ mm}$$

-Usvojeni $c=55 \text{ mm}$

-Ekscentricitet uzdužne sile $e = M_{Ed}/N_{Ed} = 92.02/52.92 = 1.74 \text{ m} = 1740 \text{ mm}$

-Ekscentricitet $X_1 = c + h - t_f/2 = 55 + 270 + 13/2 = 331.5 \text{ mm} = 0.331 \text{ m}$

-Ekscentricitet $X_2 = e - h + t_f/2 = 1740 - 270 + 13/2 = 1610 \text{ mm} = 1.610 \text{ m}$

$$N_{Ed} \cdot X_2 = F_{t,Ed} \cdot X_1 \rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{X_2}{X_1} = 52.92 \cdot \frac{1.61}{0.331} = 257.4 \text{ kN}$$

OTPORNOST VIJAKA NA VLAK

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272.7}{1.25} = 218.16 \text{ kN} \geq \frac{F_{t,Ed}}{2} = \frac{257.4}{2} = 128.7 \text{ kN}$$

OTPORNOST VIJAKA NA POSMIK

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{151.5}{1.25} = 121.2 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{27.62}{4} = 6.9 \text{ kN}$$

INTERAKCIJA UZDUŽNE I ODREZNE SILE NA VIJAK

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{6.9}{121.2} + \frac{128.7}{1.4 \cdot 218.16} = 0.48 \leq 1.0$$

PRORAČUN PLOČE

$$a_{pl}^{min} = h + 2(c + e_1) = 270 + 2(55 + 60) = 500 \text{ mm}$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 6\sqrt{2} + 20 = 316.97 \text{ mm}$$
$$= p_2 + 2e_2 = 80 + 2 \cdot 50 = 180 \text{ mm}$$

ODRABRANE DIMENZIJE PLOČE SU **500x320**mm

Proračun debljine ploče t_{pl}^{min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{sd}}{4} = \frac{27.62}{4} = 6.9 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$
$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{180.7}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl}^{min} > \frac{6.9 \cdot 1.25 \cdot 10}{180.7} = 0.477 \text{ mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{500 - 320 + 13}{2} = 98 \text{ mm} = 0.098 \text{ m}$$
$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 128.7 + 52.92 = 181.62 \text{ kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{363.24}{\frac{3 \cdot 9.8 \cdot 32}{2}} = \frac{0.39 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.67 \text{ kN/cm}^2$$

SAVIJANJE PLOČE

$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$
$$M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 6200 \cdot 0.098 \cdot 0.32 \cdot \frac{0.098}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 6200 \cdot 0.098 \cdot 0.32}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.098 = 12.74 \text{ kNm}$$

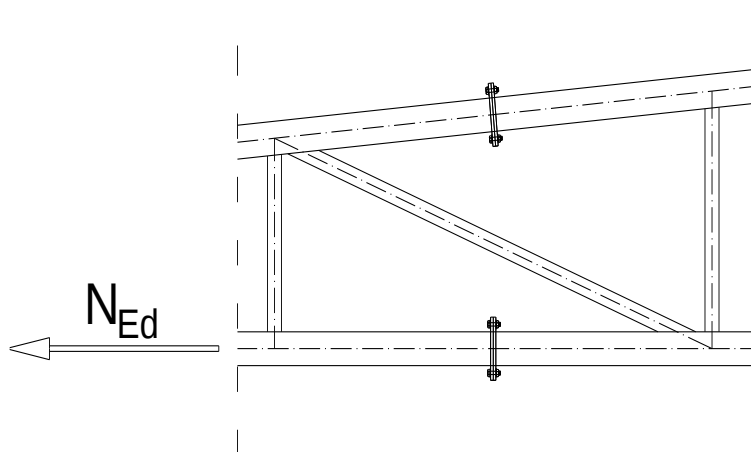
SAVIJANJE PLOČE OD VLAČNIH VIJAKA

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2} \right) = 128.7 \cdot \left(55 + \frac{13}{2} \right) = 7\,915.05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}}$$
$$= \sqrt{\frac{1.1 \cdot 8\,751 \cdot 6}{34 \cdot 27.5}} = 2.56 \text{ cm} = 25.62 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 500x320x30 mm

6.2. VLAČNI NASTAVAK REŠETKE



Slika 47 Vlačni nastavak rešetke

Veličine djelovanja:		Materijal:	Poprečni presjek (CFRHS 120x80x5.0)	
N_{Ed}	308,93kN	Osnovni materijal S275	$h=$	120mm
		Vijci k.v. 10.9	$b=$	80mm
			$t_f=$	5mm
			$A=$	18.36cm ²

1.KONTROLA VAROVA

Određivanje maksimalne debljine vara

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 5 = 3.5\text{mm}$$

Odabrano $a=4\text{mm}$

Otpornost vara

$$L_w = 0 = 4 \cdot 120 = 480\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{Mw}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{480}{100} = 448.5\text{kN} > N_{Ed} = 308.93\text{kN}$$

2.PRORAČUN VIJAKA

Pretpostavka: M22 k.v. 10.9

n=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{218.2}{1.25} = 174.56 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{308.93}{4} = 77.23 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 174.56 \text{ kN}$$

3.PRORAČUN PLOČE

Proračun dimenzije ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 4\sqrt{2} = 50 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 45 + 75 = 165 \text{ mm} \approx 170 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 120 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 151.31 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE **260x260 mm**

Očitane vrijednosti e_1 i e_2 interpolirane su iz tablice.

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

$$b_{pl} = 260 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 77.23 \cdot 0.02 = 3.09 \text{ kNm}$$

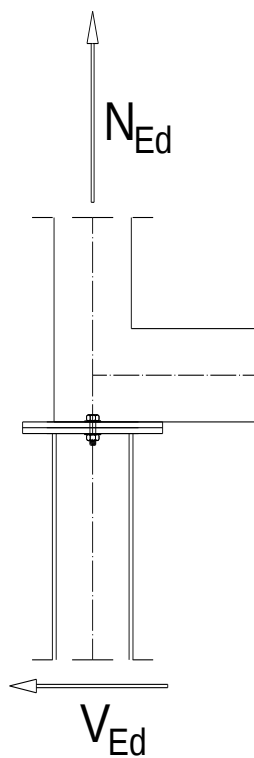
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1.1} \rightarrow W_{min} = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2}{6}$$

$$\rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 4}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 309 \cdot 4}{26.0 \cdot 27.5}} = \text{cm} = 15.4 \text{ mm}$$

ZADOVOLJAVA PLOČA DEBLJINE $t_{pl} = 20 \text{ mm}$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 260x260x20 mm

6.3. SPOJ STUP-REŠETKA



Veličine djelovanja:	Materijal:	Poprečni presjek:	
Poprečna sila u stupu $V_{Ed}=11.08 \text{ kN}$ Vlačna sila u vertikali $N_{Ed}=143.19 \text{ kN}$	Osnovni materijal S275 Vijci k.v. 10.9	HEA 280(stup) $h=270 \text{ mm}$ $t_f=280 \text{ mm}$ $t_f=13 \text{ mm}$ $t_w=8 \text{ mm}$	CFRHS 120x80x5.0 $h=120 \text{ mm}$ $b=80 \text{ mm}$ $t_f=5.0 \text{ mm}$

1.KONTROLA VAROVA

Dužina vara hrpta

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 5 = 3.5\text{mm}$$

Dužina vara pojasa

$$l_2 = 0 = 4 \cdot 120 = 480\text{mm}$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_w = 0.7 \cdot 8 = 5.6\text{mm}$$

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_f = 0.7 \cdot 5 = 3.5\text{mm}$$

$$\text{ODABRANO } a = 4.0\text{mm}$$

Poprečna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{630}{100} = 588.67\text{kN} > V_{Ed} = 11.08\text{kN}$$

Uzdužna sila

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{116.8}{1.25} \cdot \frac{680}{100} = 635.4\text{kN} > N_{Ed} = 143.19\text{kN}$$

2.PRORAČUN VIJAKA

Odabrani vijak M16, k.v. 10,9

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{78.5}{1.25} = 62.8 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{11.08}{2} = 5.54 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141.3}{1.25} = 113.04 \text{ kN} > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{143.19}{2} = 71.6 \text{ kN}$$

Interakcija uzdužne i posmične sile

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow \frac{5.54}{62.8} + \frac{71.6}{1.4 \cdot 113.04} = 0.54 \leq 1.0$$

3.PRORAČUN DIMENZIJE PLOČE

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 13 + 4\sqrt{2} = 31.65 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$a_{pl,min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 270 + 2 \cdot (40 + 40) = 430 \text{ mm}$$

$$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 280 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20 = 311.31 \text{ mm} = 320 \text{ mm}$$

Pritisak po omotaču rupe

$$F_{v,Ed} = \frac{T_{Ed}}{2} = \frac{11.08}{2} = 5.54 \text{ kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1.25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} \rightarrow t_{pl} = \frac{5.54 \cdot 1.25 \cdot 10}{143.19} = 0.48 \text{ mm}$$

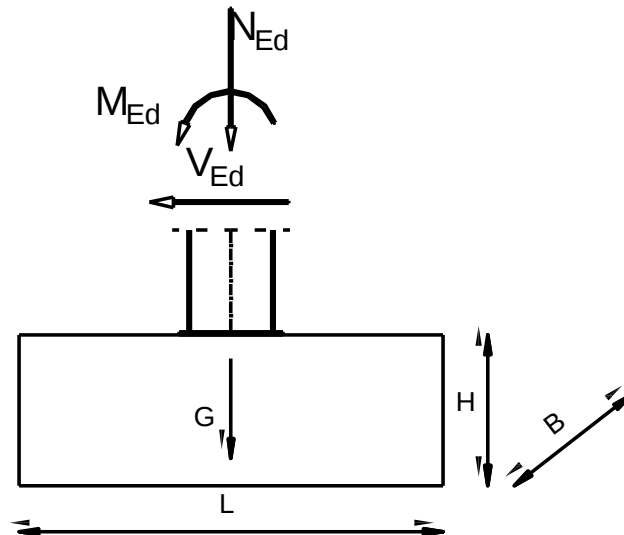
Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 71.6 \cdot 0.04 = 2.86 \text{ kNm}$$

$$t_{pl,min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 37.02 \cdot 5}{32 \cdot 27.5}} = 0.48 \text{ cm} = 5.0 \text{ mm}$$

ODABRANE DIMENZIJE PLOČE SU 430x320x6mm

7. PRORAČUN TEMELJA



Tablica 23 Temelj i opterećenja temelja

Pretpostavljene dimenzije temelja:	Rezne sile:	Karakteristike(temelj, beton, čelik):
L=2.0m	$N_{Ed} = -134.76 \text{ kN}$	Temeljno tlo: $\sigma_{tla,lim} = 300 \text{ kN/m}^2$
B=2.0m	$V_{Ed} = 26.88 \text{ kN}$	Beton C25/30: $f_{ck} = 2.5 \text{ kN/cm}^2$
H=1.5m	$M_{Ed} = 92.96 \text{ kNm}$	Čelik B500B: $f_{yk} = 50.0 \text{ kN/cm}^2$

Tablica 24 Karakteristike temelja i temeljnog tla

Površina temeljne stope:

$$A = L \cdot B = 2.0 \cdot 2.0 = 4.0 \text{ m}^2$$

Težina temeljne stope:

$$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2.0 \cdot 2.0 \cdot 1.5 \cdot 25 = 150 \text{ kN}$$

Moment otpora temeljne stope:

$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2.0 \cdot 2.0^2}{6} = 1.33 \text{ m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed} + G}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{134.76 + 150}{4} \pm \frac{92.96}{1.33}$$

$$\sigma_1 = 141.84 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = -2.02 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G} = \frac{92.96}{134.76 + 150} = 0.33 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2}{2} - 0.33 \right) = 2.01 \text{ m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot (N_{Ed} + G)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot (134.76 + 150)}{2.01 \cdot 2.0} = \frac{141.7 \text{ kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{tla, \lim} = 300 \text{ kN/m}^2$$

Proračun armature temelja

$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2 - 0.31}{2} = 0.85 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \rightarrow \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{2.01 - 0.85}{2.01} \cdot 141.7 = 81.78 \text{ kN/m}^2$$

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

$$M_{Ed}^{1-1} = 1.4 \cdot \left(81.78 \cdot \frac{0.85}{2} \cdot 2 + \frac{141.7 - 81.78}{2} \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.85 \right) = 123.13 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu:

$$z \approx 0.8 \cdot H = 0.8 \cdot 1.5 = 120 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}} = \frac{13.476}{120 \cdot \frac{50.0}{1.15}} = 2.58 \text{ cm}^2 < A_{S1, \min} = \frac{0.1}{100} \cdot B \cdot H = 30.0 \text{ cm}^2$$

Odabrana je minimalna armature:

Odabrano: glavna armatura $\rightarrow \phi 12/15$

razdjelna armature $\rightarrow \phi 8/25$

8. LITERATURA

- [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 Hochbau.
- [5] Prof.dr sc. Ivica Boko: Predavanja
- [6] FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

10. NACRTI

10.1. GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

10.2. PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50

10.3. DETALJI SPOJEVA M 1:10

10.4. RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA M 1:50

10.5. RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE M 1:50

10.6. PRIKAZ PLOČICA M 1:10

10.7. TABLICA PREDJMERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTUKCIJU

POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED.TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 280	6300	22	37.8	5793.48
Donji pojas (DP1)	120x120x8	8000	22	28.4	6452.6
Donji pojas (DP2)	120x120x8	9000	11	28.4	2811.6
Gornji pojas (GP1)	120x120x8	8158	11	28.4	2546.6
Gornji pojas (GP2)	120x120x8	4520	11	28.4	1427.96
Gornji pojas (GP3)	120x120x8	12686	11	28.4	3975.55
Vertikala (V1)	120x80x5	734	22	14.8	238.37
Vertikala (V2)	120x80x5	968	22	14.8	315.59
Vertikala (V3)	120x80x5	1202	22	14.8	390.21
Vertikala (V4)	120x80x5	1436	22	14.8	467.56
Vertikala (V5)	120x80x5	1670	22	14.8	543.75
Vertikala (V6)	120x80x5	1970	11	14.8	320.74
Dijagonala (D1)	120x80x5	2549	22	14.8	829.38
Dijagonala (D2)	120x80x5	2605	22	14.8	846.5
Dijagonala (D3)	120x80x5	2681	22	14.8	872.6
Dijagonala (D4)	120x80x5	2669	22	14.8	869.35
Dijagonala (D5)	120x80x5	2760	22	14.8	898.65
Pločica (P1)	500x320x30	proračun preko zapremnine	22	50.44	1109.68
Pločica (P2)	430x320x8	proračun preko zapremnine	66	12.54	827.64
Pločica (P3)	260x260x20	proračun preko zapremnine	44	16.08	707.52
Krovne podrožnice	IPE 200	4300	132	25.4	14417.64
Bočne podrožnice	IPE 200	4300	88	25.4	9611.48
Zabatni stupovi (ZS 1)	HEA 280	7970	2	37.8	602.57
Zabatni stupovi (ZS 2)	HEA 280	6818	4	37.8	1030.61

SUMA Σ : 57 912.37

**+2% SPOJNA
SREDSTVA** 1545.27

UKUPNO (kg): 59 457.64

UKUPNO (kg/m²): 55.31

Građevina: Proizvodna hala

Predmet: Osnove metalnih konstrukcija

Tema: **Pr** r
konstrukcije proizvodne hale

Sadržaj: Predmjer materijala

Izradio: FRANE MILJAK

PRILOG: 7



SVEUČILIŠTE U SPLITU

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Split, Matice hrvatske 15

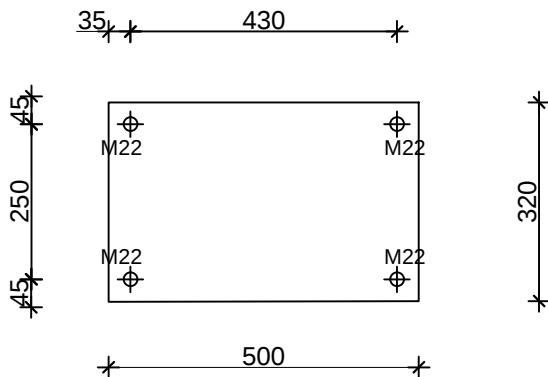
MJ: /

Datum:
rujan 2018.

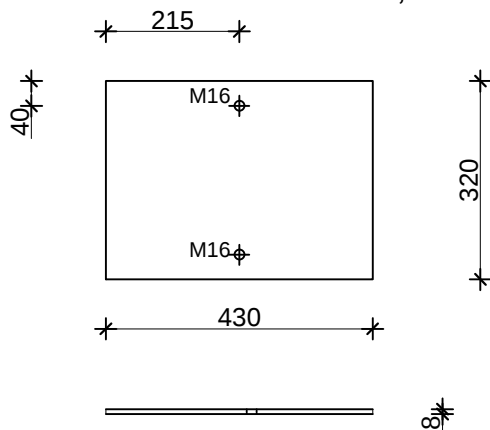
PRIKAZ PLOČICA

M 1:10

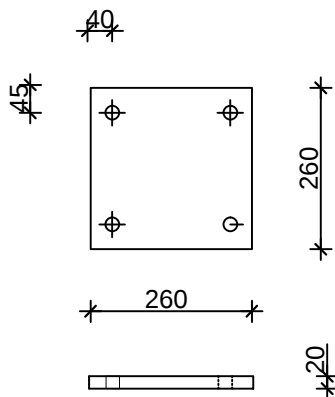
PLOČICA P1 500x320x30, kom=22



PLOČICA P2 430x320x8, kom=22



PLOČICA P3 320x320x20, kom=66



Građevina: Proizvodna hala

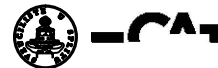
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija

Tema: Proračun čelične
konstrukcije proizvodne hale

Sadržaj: Prikaz pločica

Izradio: FRANE MILJAK

PRILOG: 6

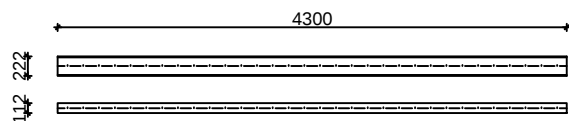


SVEUČILIŠTE U SPLITU
Fakultet građevinarstva, arhitekture i
geodezije
Split, Matice hrvatske 15

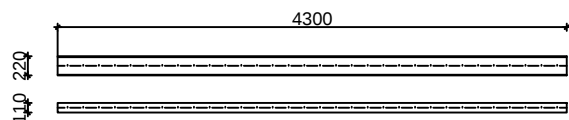
MJ: 1:10

Datum:
rujan 2018.

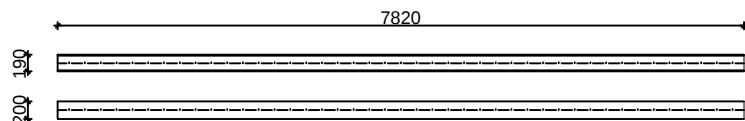
KROVNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 200 $I=4300\text{mm}$, kom=132



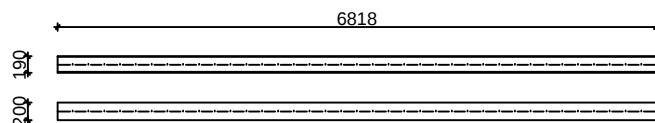
BOČNI SEKUNDARNI NOSAČI IPE 200 $I=4300\text{mm}$, kom=88



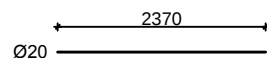
ZABATNI STUPOVI (ZB 1) HEA 280 $I=7970\text{mm}$, kom=2



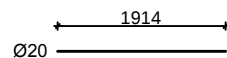
ZABATNI STUPOVI (ZB 2) HEA 280 $I=6818\text{mm}$, kom=4



KROVNI SPREGOVI (KS1) • $I=2370\text{mm}$, kom=8



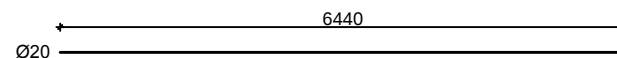
KROVNI SPREGOVI (KS2) • $I=1914\text{mm}$, kom=8



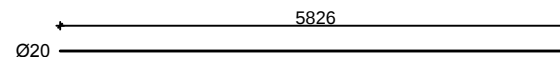
RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

M 1:50

BOČNI SPREGOVI (BS 1) • $I=6440\text{mm}$, kom=8



BOČNI SPREGOVI (BS 2) • $I=5826\text{mm}$, kom=4

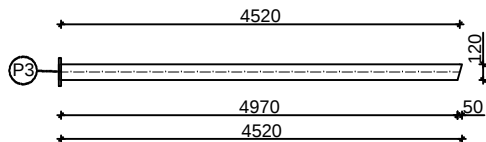


Građevina: Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija		
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale		
Sadržaj: Radionički nacrt sekundarne konstrukcije		
Izradio: FRANE MILJAK		
PRILOG: 5	MJ: 1:50	Datum: rujan 2018.

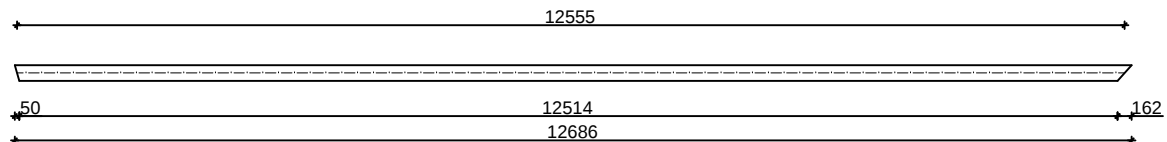
RADIONIČKI NACRT GLAVNE KONSTRUKCIJE

M 1:50

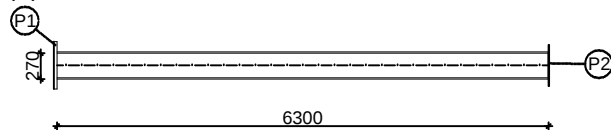
GORNJI POJAS (GP2) 120x120x8 $\square$ l=4520mm, kom=1x11



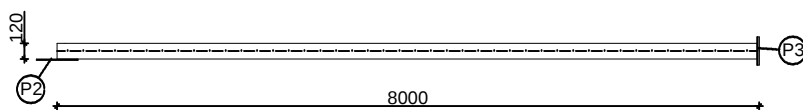
GORNJI POJAS (GP3) 120x120x8 $\square$ l=12686mm, kom=1x11



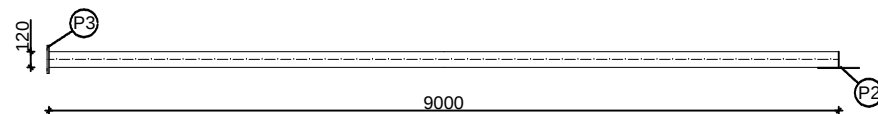
STUP (S) HEA 280 $\square$ l=6300mm, kom=2x11



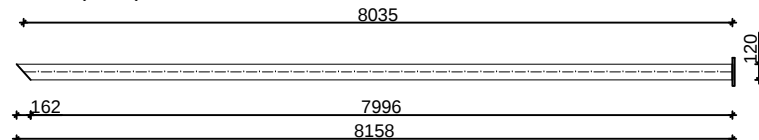
DONJI POJAS (DP1) 120x120x8 $\square$ l=8000mm, kom=2x11



DONJI POJAS (DP2) 120x120x8 $\square$ l=9000mm, kom=1x11



GORNJI POJAS (GP1) 120x120x8 $\square$ l=8158mm, kom=1x11



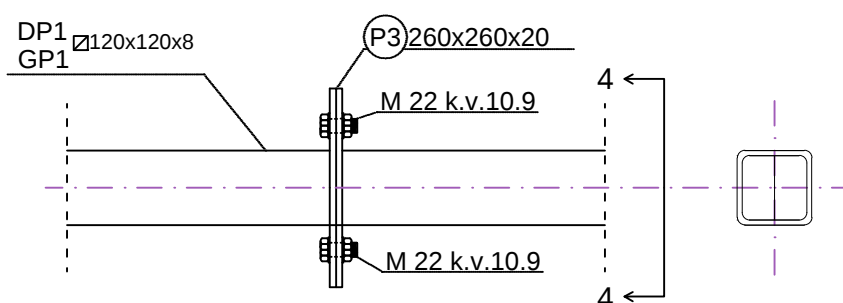
Građevina: Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija		
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale		
Sadržaj: Radionički nacrt sekundarne konstrukcije		
Izradio: FRANE MILJAK	MJ: 1:50 Datum: rujan 2018.	
PRILOG: 4		

DETALJ "C" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

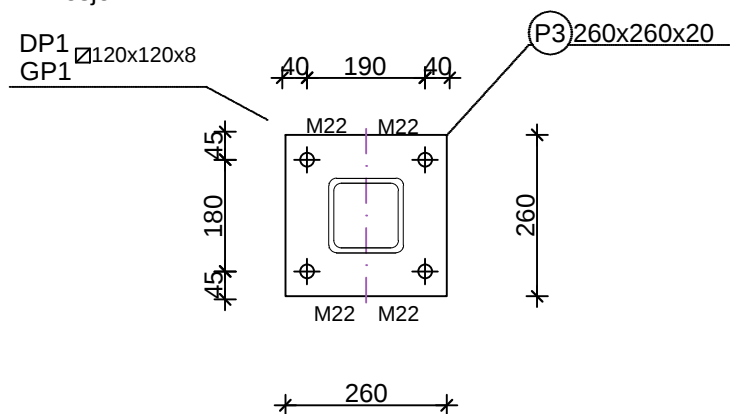
DETALJ SPOJA

M 1:10

Pogled

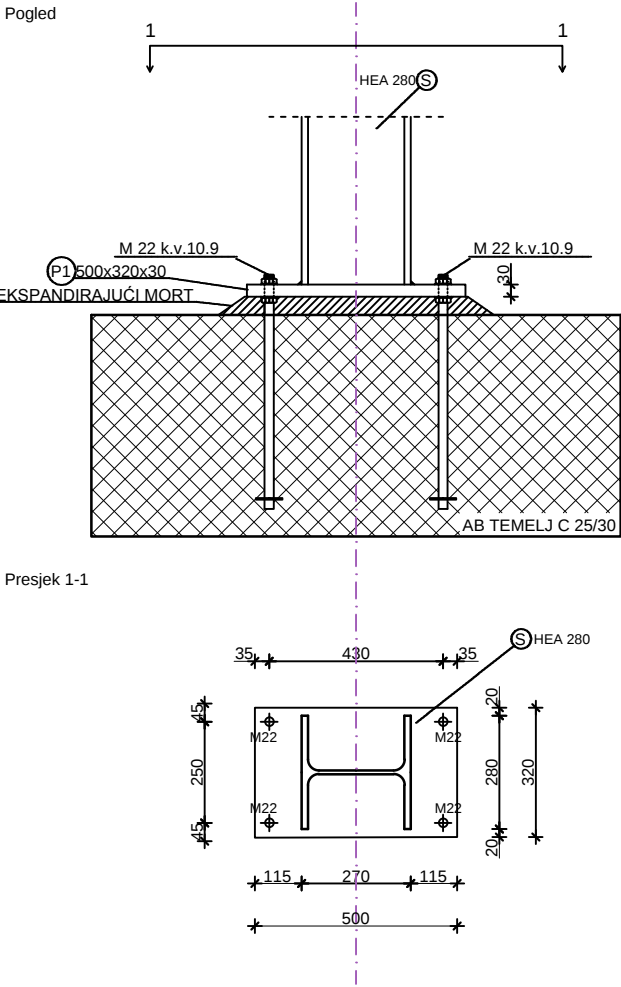


Presjek 4-4

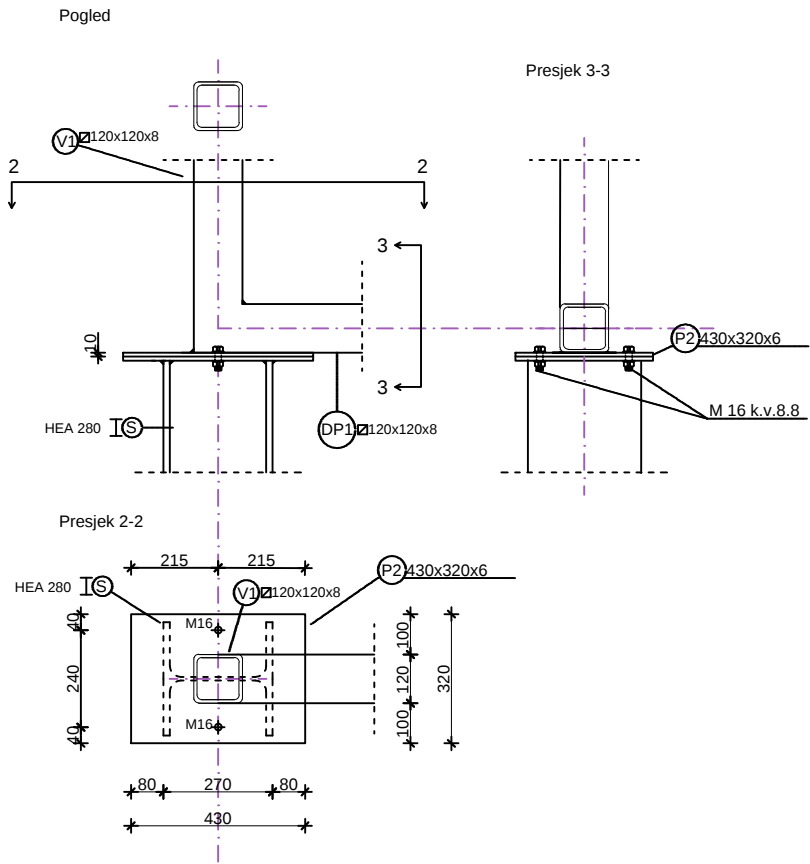


Građevina: Proizvodna hala	  SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija		
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale		
Sadržaj: Detalji spojeva		
Izradio: FRANE MILJAK	MJ: 1:10	Datum: rujan 2018.
PRILOG: 3		

DETALJ "A" SPOJ STUP-TEMELJ



DETALJ "B" ZGLOBNI SPOJ STUPA SA REŠETKOM



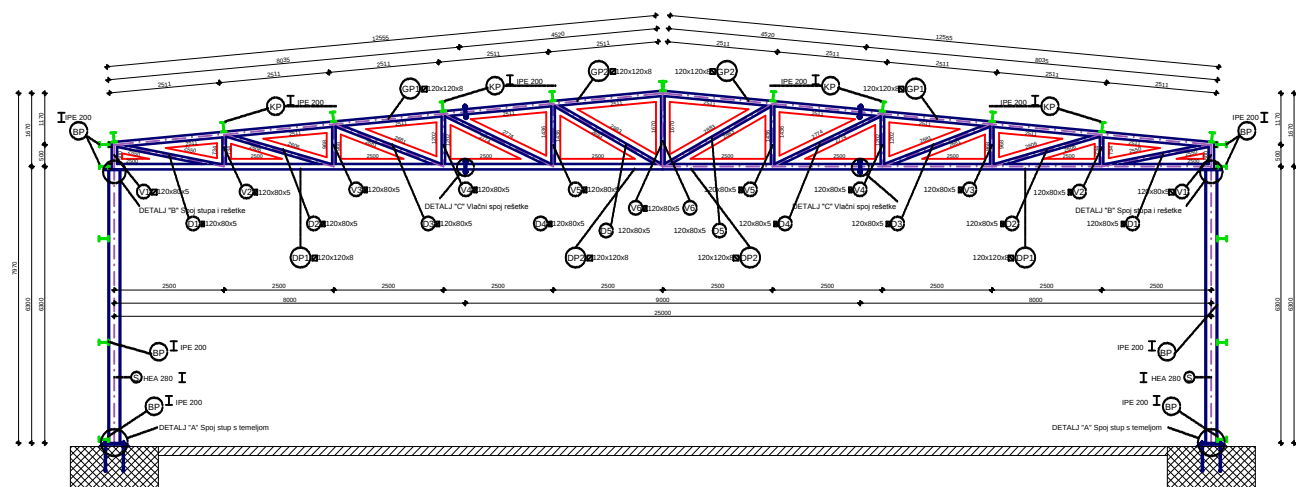
DETALJI SPOJEVA

M 1:10

Gradovina: Proizvodna hala	 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, Matice hrvatske 15
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija	
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale	
Sadržaj: Detalji spojeva	
Izradio: FRANE MILJAK	
PRILOG: 3	Mj: 1:10 Datum: rujan 2018.

PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR

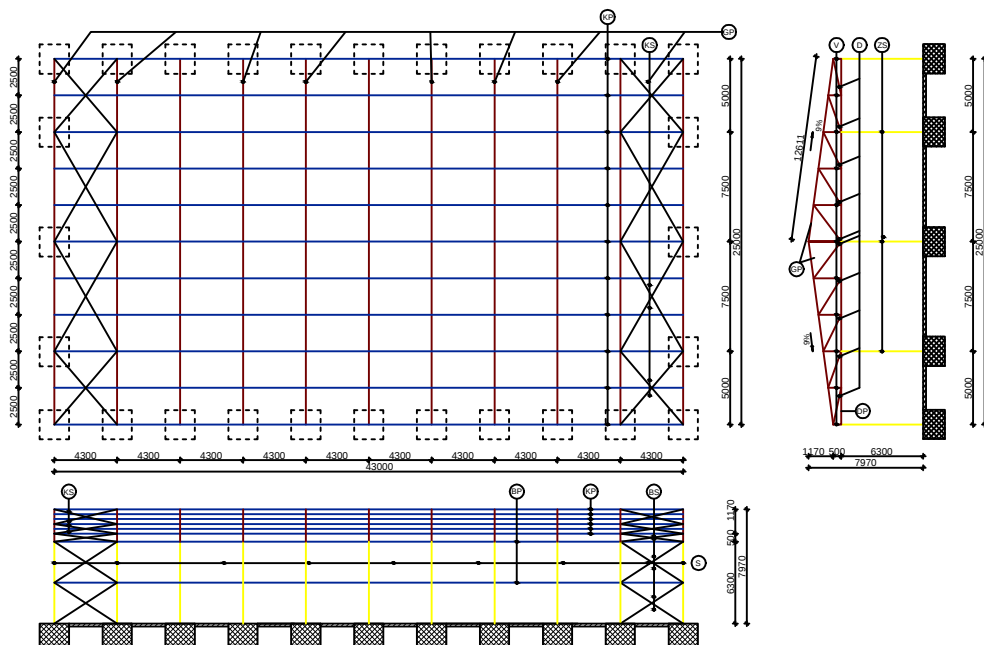
M 1:50



Građevina: Proizvodna hala	  SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, inženjeringa i geodetike Split, Matije Gupca 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija		
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale		
Sadržaj: Presjek kroz glavni okvir		
Izradio: FRANE MILJAK		
PRILOG: 2	M1: 1:50	Datum: rujan 2018.

GENERALNI PLAN POZICIJA

M 1:200



GORNJI POJAS	CFRHS 120x120x8	KROVNI SPREGOVI	RD 20
DONJI POJAS	CFRHS 120x120x8	BOČNI SPREGOVI	RD 20
VERTIKALE	CFRHS 120x80x5	BOČNE PODROŽNICE	IPE 200
DIJAGONALE	CFRHS 120x80x5	ZABATNI STUPOVI	HEA 280
KROVNE PODROŽNICE	IPE 200	STUPOVI	HEA 280

Građevina: Proizvodna hala		 SVEUČILIŠTE U SPLITU Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodetike Split, Matije Gupca 15	
Predmet: Osnove metalnih konstrukcija			
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale			
Sadržaj: Generalni plan pozicija			
Izradio: FRANE MILJAK			
PRILOG:	1	M3: 1:200	Datum: rujan 2018.



OBRAZAC:

Obrazac osnovnih podataka završnog rada preddiplomskog sveučilišnog studija Građevinarstva i stručnog studija Građevinarstva za pohranu u Repozitoriju Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije (Dabar)

1.	STUDIJ:	Preddiplomski građevinarstva
2.	KANDIDAT/KINJA:	Frane Miljak
3.	BROJ INDEKSA:	4291
4.	KATEDRA:	Katedra za drvene i metalne konstrukcije
5.	PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija
6.	DATUM OBRANE:	12.9.2018
7.	MENTOR:	Prof.Ivica Boko
8.	NASLOV ZAVRŠNOG RADA:	Proračun metalne konstrukcije
9.	SAŽETAK (minimalno 150 znakova):	Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače te spregove konstrukcije. Objekt se nalazi na području Zagreba. Proračun se provodi na temelju krajnjeg graničnog stanja (KGS) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Opterećenja koja se javljaju na konstrukciji su stalno: vlastita težina i promjenjivo: snijeg i vjetar. Rezultati unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia Engineer 2017“.
10.	KLJUČNE RIJEČI:	Čelik, hala, nosiva konstrukcija, spregovi, podrožnice, rešetka, stup, dimenzioniranje, spojevi.
11.	NASLOV ZAVRŠNOG RADA (na engleskom jeziku):	Design of a steel manufacturing hall
12.	SAŽETAK (na engleskom jeziku):	Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: it is main supporting structure, secondary structure and bracings. Object is located in Split. Estimate is based on ultimate limit state (ULS) and serviceability limit states (SLS). Loads are permanent: self weight and variable: snow and wind. Results are from „Scia Engineer 2016“.



13.	KLJUČNE RIJEČI (na engleskom jeziku):	Steel, hall, load-bearing structure, bracings, purlins, grating, column, design, joints.
-----	--	--

Napomena:

Ovaj obrazac se ispunjava računalno, a zatim se u istom formatu (MS Word dokument) pohranjuje na CD-u/DVD-u uz završni rad.