Proračun čelične konstrukcije hale

Živković, Barbara

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:996424

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Barbara Živković

Split, 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije skladišne hale

Završni rad

Split, 2020.

Sveučilište u Splitu
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
Barbara Živković

Split,Matice hrvatske 15

STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA
KANDIDAT: Barbara Živković
BROJ INDEKSA: 4592
KATEDRA: Katedra za metalne i drvene konstukcije
PREDMET: Osnove metalnih konstrukcija

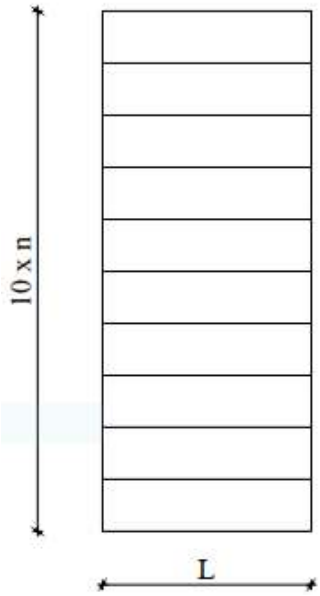
ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

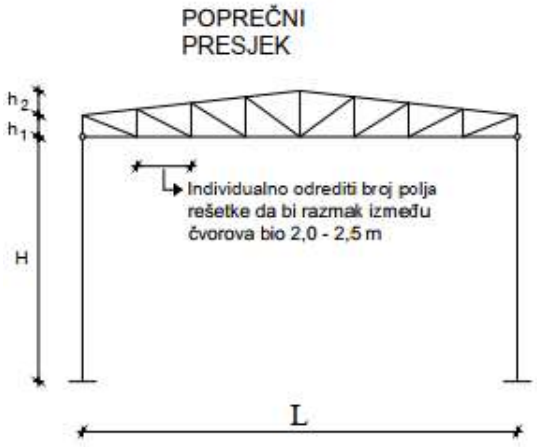
Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Opis zadatka: Treba konstruirati i dimenzionirati nosivi sustav prema skici, i to:

1. Sekundarne nosače i sustav stabilizacije
2. Krovni rešetkasti nosač
3. Stupovi

TLOCRT





ZADANI PODACI:
Način izvedbe: montažno
Materijal izrade: S355
Lokacija objekta: Zagreb
Razmak okvira: n=4,4m
Širina objekta: L=20 m
Visina stupova: H=4,4 m
Nagib krovne plohe- 9%
Visina rešetke: h1+h2=L/15

U Splitu, 2020. g.
Voditelj završnog rada: prof. dr. sc. Boko Ivica

PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE HALE

Sažetak:

Na temelju zadanih podataka čelične hale potrebno je dimenzionirati glavnu nosivu konstrukciju, sekundarne nosače, spregove konstrukcije i temelje. Objekt se nalazi na području Zagreba. Proračun se provovid na temelju graničnog stanja nosivosti (GSN) i graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Optrerečenja koja se javljaju na konstrukciju su stalno (vlastitat težina i dodatno stalno opterečenje) i prmjenjivo (snijeg i vjetar). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „Scia engineer 19.0“.

Ključne riječi:

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

DESIGN OF STEEL MAUFACTURING HALL

Abstract:

Based on the information about a steel manfufacturing hall, our assignment is to design this structure, it's main supporting structure, secondary structure, bracings and foundations. The object is located in Zagreb. Structure calculations are based on ultimate limit state (ULS) and serviceabillity limit state (SLS).Loads are permanent and variable (snow and wind). The results of the internal forces were calculated in „ Scia engineer 19.0“.

Keywords:

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

1 TEHNIČKI OPIS 6

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

1.1.1 Općenito 6

1.1.2 Konstruktivni elementi 7

Grede 7

Stupovi 7

1.1.3 Spojevi 7

1.1.2.3.1 SPOJ STUP – TEMELJ 7

1.1.2.3.2 SPOJ STUP – GREDA 7

1.1.2.3.3 SPOJ GREDA -GREDA 7

1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE 7

1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE 7

1.4 PRIMIJENJENI PROPISI 8

1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA 8

1.6 ZAŠTITA OD POŽARA 8

1.7 MONTAŽA I TRANSPORT 8

2 ANALIZA OPTEREĆENJA 9

2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (GLAVNI OKVIR) 9

2.1.1 Stalno opterećenje 9

2.1.1.1 Krovna ploha 9

2.1.2 Pokretno opterećenje 10

2.1.2.1 Djelovanje snijega 10

2.1.2.2 Djelovanje vjetra 11

2.1.2.2.1 Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova Θ=0 13

2.1.2.3 Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove 15

3 KONTROLA PROGIBA (GSU) 20

3.1 KROVIŠTE (VERTIKALNI PROGIB) 20

3.2 STUP (HORIZONTALNI PORGIB) 21

4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN) 22

4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 22

4.1.1 Kombinacija 1 (1,35G+1,5S) 22

4.1.2 Kombinacija 2 (1,35G+1,5W2) 23

4.1.3 Kombinacija 3 (1,0G+1,5 W1) 25

4.1.4 Kombinacija 4 (1,35G+1,35 W2+1,35S) 26

4.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 27

4.2.1 Zabatni stupovi 27

4.2.2 Krovna podrožnica 28

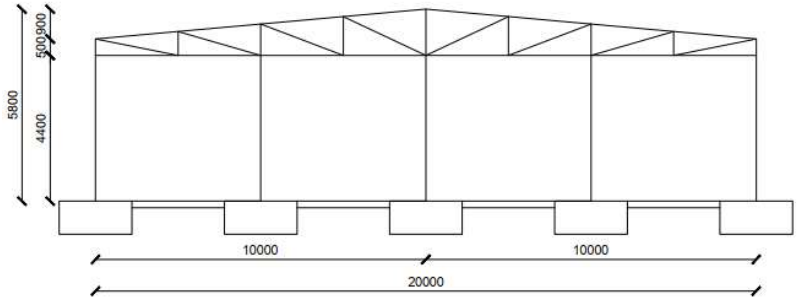
4.2.3 Bočna podrožnica 31
4.2.4 Krovni (horizontalni) spregovi 33
4.2.5 Bočni (vertikalni) spregovi 34
5 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE 36
5.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 36
5.1.1 Dimenzioniranje stupa 36
5.1.2 Dimenzioniranje rešetke 44
5.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 56
5.2.1 Zabatni stupovi 56
5.2.2 Krovni spreg 58
5.2.3 Bočni spreg 58
5.2.4 Krovna podrožnica 59
5.2.5 Bočna podrožnica 64
6 DIMENZIONIRANJE SPOJEVA 69
6.1 SPOJ STUP-TEMELJ 69
6.2 SPOJ STUP-REŠETKA 73
6.3 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE 75
7 PRORAČUN TEMELJA 77
8 NACRTI 79
8.1 GENERALNI PLAN POZICIJA 80
8.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR 81
8.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA 82
8.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA 83
8.5 RADIONIČKI NACRT SPREGOVA 84
8.6 DETALJ „D1“ SPOJA STUP-TEMELJ 85
8.7 DETALJ „D2“ SPOJA STUP-REŠETKA 85
8.8 DETALJ „D3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE 86
9 ISKAZ MATERIJALA 87

1 TEHNIČKI OPIS

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

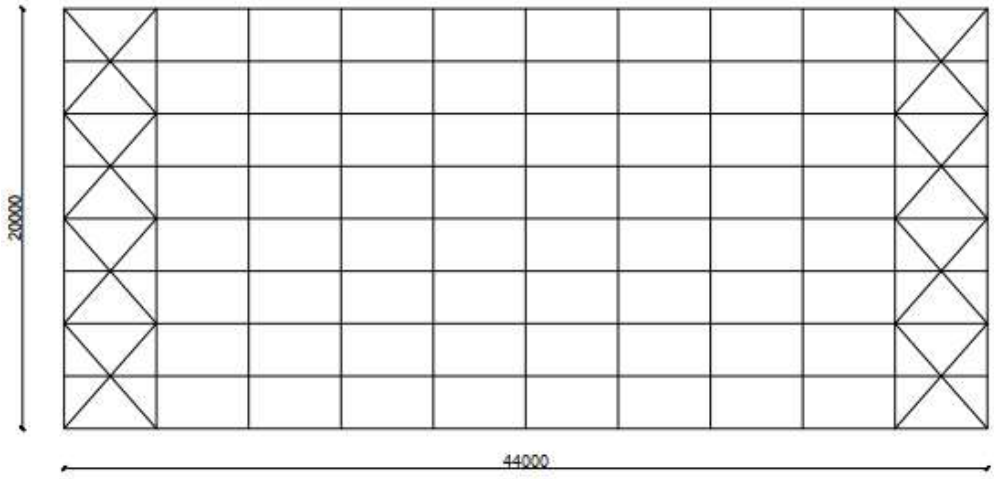
1.1.1 OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Zagreba. Tlocrtne dimnzije su 20,0 x 44,0 (m), a visina iznosi
5,80 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom α = 5,14°,stoga se u ovom slučaju radi o kosom krovu. Projektirana je za potrebe skladištenja.



Slika 1Prikaz glavnog nosača

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 10ravninskih okvira raspona 20,0 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 4,4 (m).



Slika 2Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,51 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,20 (m).

Stabilizacija hale u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav ostvarena je spregovima u krovnim (horizontalnim) i bočnim (zidnim) ravninama i to u krajnjim poljima (prvom i posljednjem).

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

GREDE (GLAVNA REŠETKA)

Glavna rešetka sastoji se od gornjeg i donjeg pojasa. Gornji pojas sastavljen je od tri dijela, a donji od dva diijela. Donji pojas premoštava širinu okvira od 20 m, te se zbog toga rade dva dijela, kod kojeg je jedan duljine 11 m,a drugi 9 m. Glavne reštek su dimenzionirane tako da prime utjecaj od vlastite težine čitave konstrukcije i opterećenje od snijega i vjetra. Proračunom su odabrani hladno oblikovani profili pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFHRS 140x140x5 za gornji i donji pojas. Pojasevi rešetke povezani su vertikalama i dijagonalama, vertikale su pravokutnog poprečnog presjek CFHRS 60x60x4 , a dijagonale pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka CFHRS 40x40X4. Na glavne rešetke oslanjaju se krovne podrožnice.

STUPOVI

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA 180 ukupne dužine 4400 (mm). Zs zabatne stupove su odabrani profili HEA 100. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

1.1.3. SPOJEVI

SPOJ STUP – TEMELJ

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 350x250x20 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M16 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

SPOJ STUP – REŠETKA

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 220x320x15 (mm),ukrutom i vijcima M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Spoj grede i grede na krovištu ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 300x300x24 (mm),ukrutom i vijcima M22 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez

1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

- stalno (vlastita težina građevine),
- snijeg,
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 20,0 (m) širine krovne plohe.
Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „SciaEngineer 2016.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.
Sekundarne konstrukcije modelirane su kao kontinuirani nosači preko 5 polja. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S355.
Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom. Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

1.4 PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja	
HRN ENV 1991-2-1	vlastita težina građevine
HRN ENV 1991-2-3	djelovanje snijega na konstrukciju
HRN ENV 1991-2-4	djelovanje vjetra na konstrukciju
Dimenzioniranje	
HRN ENV 1993	dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
HRN ENV 1992	dimenzioniranje armirano-betonskih konstrukcija

1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA

Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije prema odredbama ''Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcije od korozije''. Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita vrućim pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 μm.

1.6 ZAŠTITA OD POŽARA

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

1.7 MONTAŽA I TRANSPORT

Elementi 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 neporebna oštečenja. 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 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA (OKVIR)

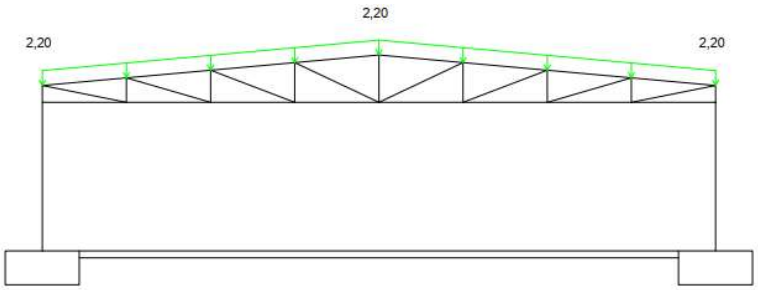
2.1.1 STALNO OPTEREĆENJE

2.1.1.1 KROVNA PLOHA

- sendvič paneli (aluminij) ..... 0,2 kN/m^2
- sekundarna konstrukcija i spregovi ..... 0,2 kN/m^2
- instalacije ..... 0,1 kN/m^2

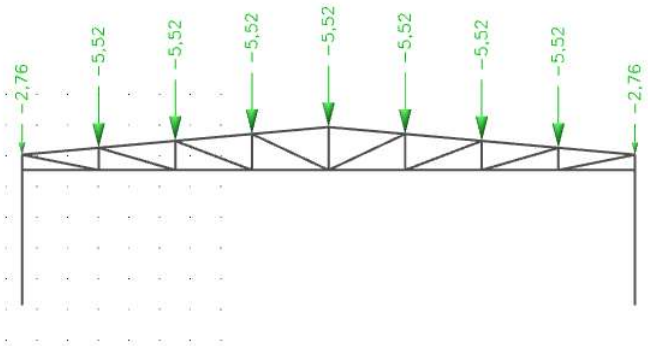
Σ = 0,5 kN/m^2

G_{kp} = 0,50 kN/m^2 · 4,4m = 2,2 kN/m'



Slika 3: Stalno raspodijeljeno opterećenje pročelja

Koncentrična sila u prvoj i zadnjoj podrožnici:
G_{kp} = 0,50 kN/m^2 · 4,4m · 1,255m = 2,76 kN
Koncentrična sila u svim ostalim podrožnicama:
G_{kp} = 0,50 kN/m^2 · 4,4m · 2,51m = 5,52 kN



Slika 4: Stalno koncentrirano opterećenje pročelja

2.1.2 POKRETNO OPTEREĆENJE

2.1.2.1 DJELOVANJE SNIJEGA

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

s_k => karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u kN/m^2

s_k= 1,0 kN/m^2<=> za Zagreb, od 0-100 m nadmorske visine

- Nagib krova :

μ_i => koeficijent oblika za opterećenje snijegom , očitamo ga ovisno o α,

α je nagib krova

tgα = 9/100=0,09➔α =5,14° ;

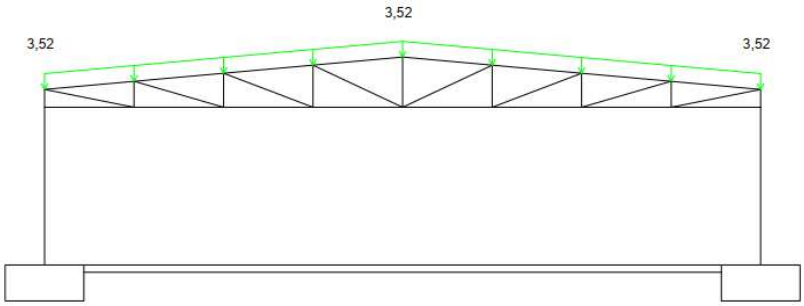
μ_i =0,8 <=> za nagib krova 0° < α < 15° $\alpha_1=\alpha_2$

c_e => koeficijent izloženosti (uzima se 1,0)

c_t => toplinski koeficijent (uzima se 1,0)

Opterećenje snijegom preko cijele krovne površine: **s_1= 1,0 * 0,8 * 1,0 * 1,0= 0,8[kN/m^2]**

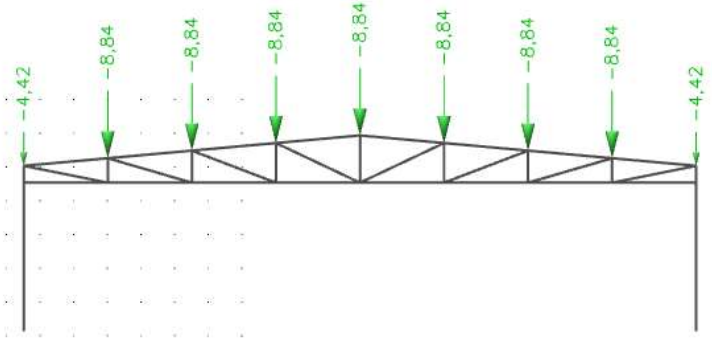
Raspodijeljena sila na glavni nosač: **S**= 0,8 kN/m^2· 4,4 m= 3,52 kN/m



Slika 5: Raspodijeljeno opterećenje snijegom pročelja

Koncentrična sila u prvoj i zadnjoj podrožnici:
S_{kp} = 0,80 kN/m^2 · 4,4m · 1,255m = 4,42 kN

Koncentrična sila u svim ostalim podrožnicama:
S_{kp} = 0,80 kN/m^2 · 4,4m · 2,51m = 8,84 kN



Slika 6: Koncentrirano opterećenje snijegom pročelja

2.1.2.2 DJELOVANJE VJETRA

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

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

$q_p(z_e)$ =>pritisak brzine vjetra pri udaru

z_e => referentna visina za vanjski(unutarnji) pritisak

c_{pe} => vanjski koeficijent pritiska

c_{pi} => unutarnji koeficijent pritiska

Određivanje pritiska brzine vjetra pri udaru:

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

ρ => gustoća zraka(usvaja se ρ = 1,25 kg/m^3)

v_b=>osnovna brzina vjetra

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

$v_{b,0}$ => fundamentalna vrijednost brzine vjetra(očitano s karte $v_{b,0}$ =20(m/s))

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

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

$v_b = 20 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 20$ (m/s)

$v_m(z)$=>srednja brzina vjetra

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$ (m/s)

$c_0(z)$ => faktor hrapavosti

$c_r(z)$ => faktor orografije(uzima se 1,0)

$k_r(z)$ => faktor terena

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

$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0{,}19 \cdot \ln(5{,}80/0{,}05) = 0{,}903$

$v_m(z) = 0{,}903 \cdot 1{,}0 \cdot 20 = 18{,}06$ (m/s)

I_v(z)=> intenzitet turbulencije

k_1=>faktor turbulencije(uzima se 1,0)

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(5,80/0,05)} = 0,21$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^{\,2} = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 0,250(kN/m^2)$$

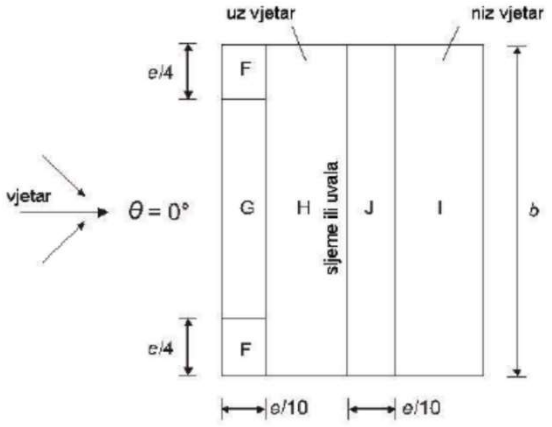
c_e(z) => faktor izloženosti

$c_e(z) = (1+7 \cdot I_v(z))$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$q_p = (1+7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^{\,2} = (1+7 \cdot 0,21) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 18,06\ 10^{-3} = 0,504\ (kN/m^2)$

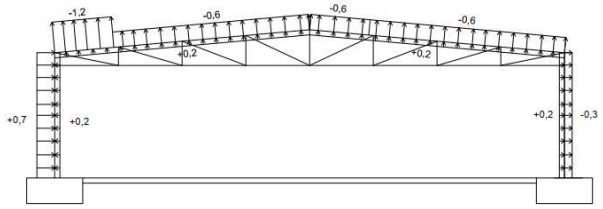
2.1.2.2.1 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA PODRUČJA DVOSTREŠNOG KROVA Θ=0



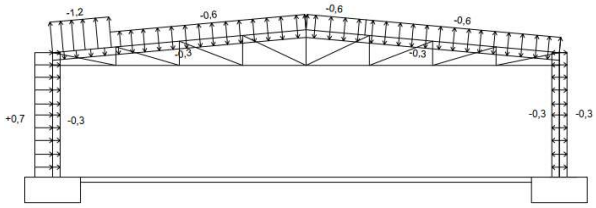
Slika7 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove Θ=0

Prilikom djelovanja vjetra promatramo četiri slučajeva koji su mogući i odaberemo dva najkritičnija. Jedan je odižući, a drugi je pritiskajući.

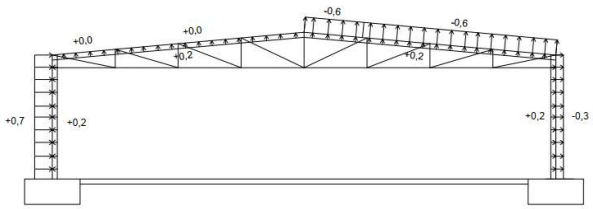
PRVA KOMBINACIJA



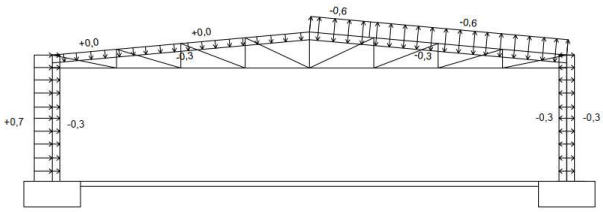
DRUGA KOMBINACIJA



TREĆA KOMBINACIJA



ČETVRTA KOMBINACIJA



Prva i četvrta kombinacija su najkritičnije i u nastavku njih razmatramo.

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu skrovom nagiba α = 5° za područja dvostrešnog krova Θ=0
  - *Tablica 1Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	-0,6

TaPODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

q_p = 0,504 kN/m^2

Tablica 2Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	-0,6
w_{e1} (kN/m^2)	-0,86	-0,60	-0,30	-0,30	+0,30

Tablica 3Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcij

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
w_{e2} (kN/m^2)	+0,0	+0,0	+0,0	-0,30	-0,30

Rezultirajuće djelovanje vjetra : $w_k = w_e$'+'w_i [kN/m^2]

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak (c_{pi} = +0,2)

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], L =4,4 m→ razmak okvira

Tablica 4Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-0,86	-0,60	-0,30	-0,30	-0,30
w_i (kN/m^2)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
w_k (kN/m^2)	-0,96	-0,70	-0,40	-0,40	-0,40
W_k (kN/m')	-4,22	-3,08	-1,76	-1,76	-1,76

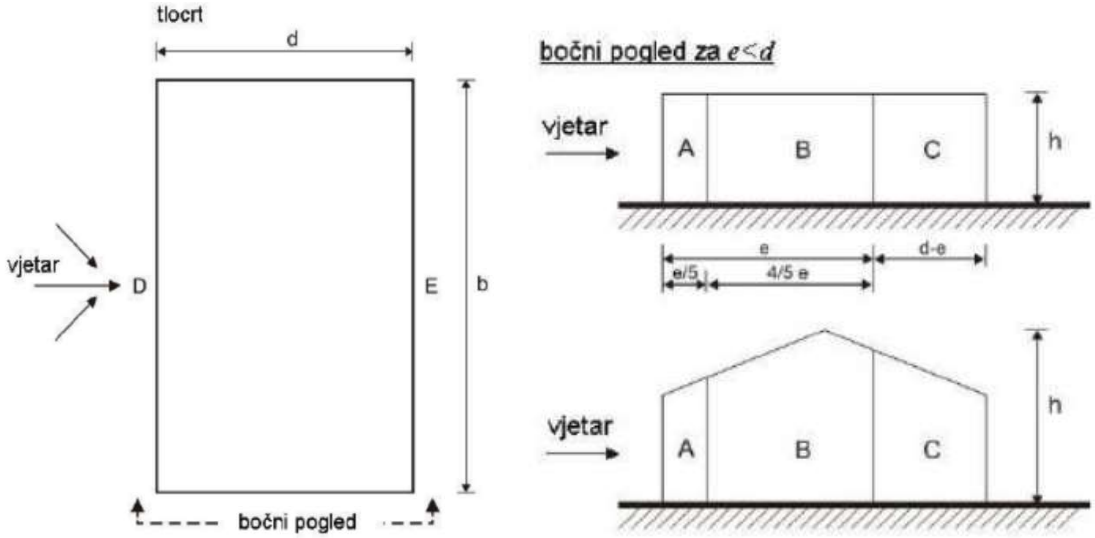
Vjetar W2 negativni unutarnji pritisak (c_{pi} = –0,3)

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], L = 4,4 m→ razmak okvira

Tablica 5Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	+0,0	+0,0	+0,0	-0,30	-0,30
w_i (kN/m^2)	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15
w_k (kN/m^2)	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15
W_k (kN/m')	-0,66	-0,66	-0,66	0,66	0,66

2.1.2.3 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE



Slika 8 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidov

e=2h;b→e=2h=11,6 m < d=20 m

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidove
  h/d=5,8/20=0,29→uzmemo za ≤25
  - *Tablica 6Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

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

Određivanje koeficijenata 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 vrijednosti:

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

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

q_p = 0,504 kN/m^2-preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

Tablica 7Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	–1,2	–0,8	–0,5	+0,7	–0,3
w_e (kN/m^2)	-0,60	-0,40	-0,25	+0,35	-0,15
W_k (kN/m')	2,64	1,76	1,10	1,54	0,66

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

q_p = 0,504 kN/m^2, $c_i(z_i)$ = 2,0

w_i = 0,504 · 0,2 = +0,1008 kN/m^2

w_i = 0,504· (-0,3) = -0,1512 kN/m^2

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e - w_i$ [kN/m^2]

Vjetar W1 pozitivni unutarnji pritisak (c_{pi} = +0,2)

Tablica 8Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m^2)	-0,60	-0,40	-0,25	+0,35	-0,15
w_i (kN/m^2)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
w_k (kN/m^2)	-0,70	-0,50	-0,35	0,25	-0,25
W_k (kN/m')	3,08	2,20	1,54	+1,10	-1,10

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

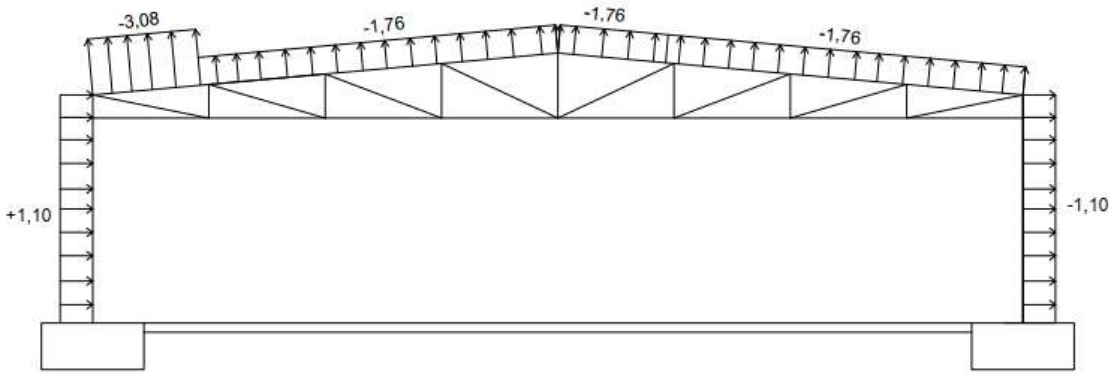
Tablica 9Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m^2)	-0,60	-0,40	-0,25	+0,35	-0,15
w_i (kN/m^2)	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15
w_k (kN/m^2)	-0,45	-0,25	-0,10	0,50	+0,0
W_k (kN/m')	1,98	1,10	0,44	+2,20	+0,0

W1

W_1= 4,42 (kn/m') F zona W_6= 1,10 (kn/m') D zona
W_2= 3,08 (kn/m') G zona W_7=1,10 (kn/m') E zona
W_3= 1,76 (kn/m') H zona
W_4= 1,76 (kn/m') I zona
W_5= 1,76 (kn/m') J zona

PRVA KOMBINACIJA

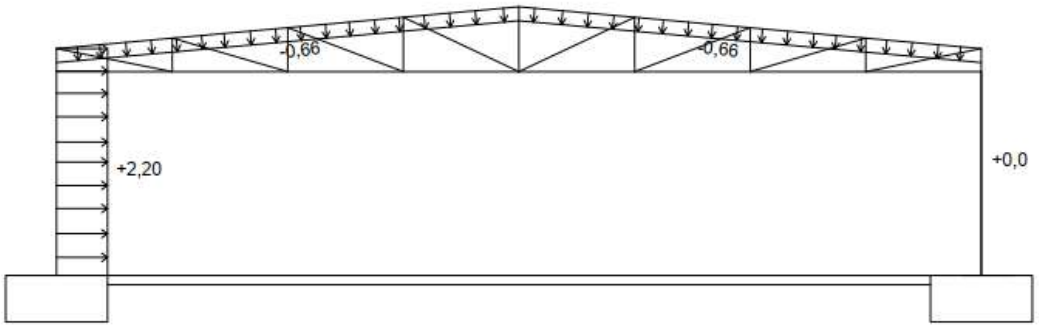


Slika 9 Opterećenje vjetrom W1 u čvorovima rešetke

W2

W_1= 0,66 (kn/m') F zona W_6= 2,20(kn/m') D zona
W_2=0,66 (kn/m') G zona W_7=0,0 (kn/m') E zona
W_3= 0,66 (kn/m') H zona
W_4= 0,66 (kn/m') I zona
W_5= 0,66 (kn/m') J zona

ČETVRTA KOMBINACIJA

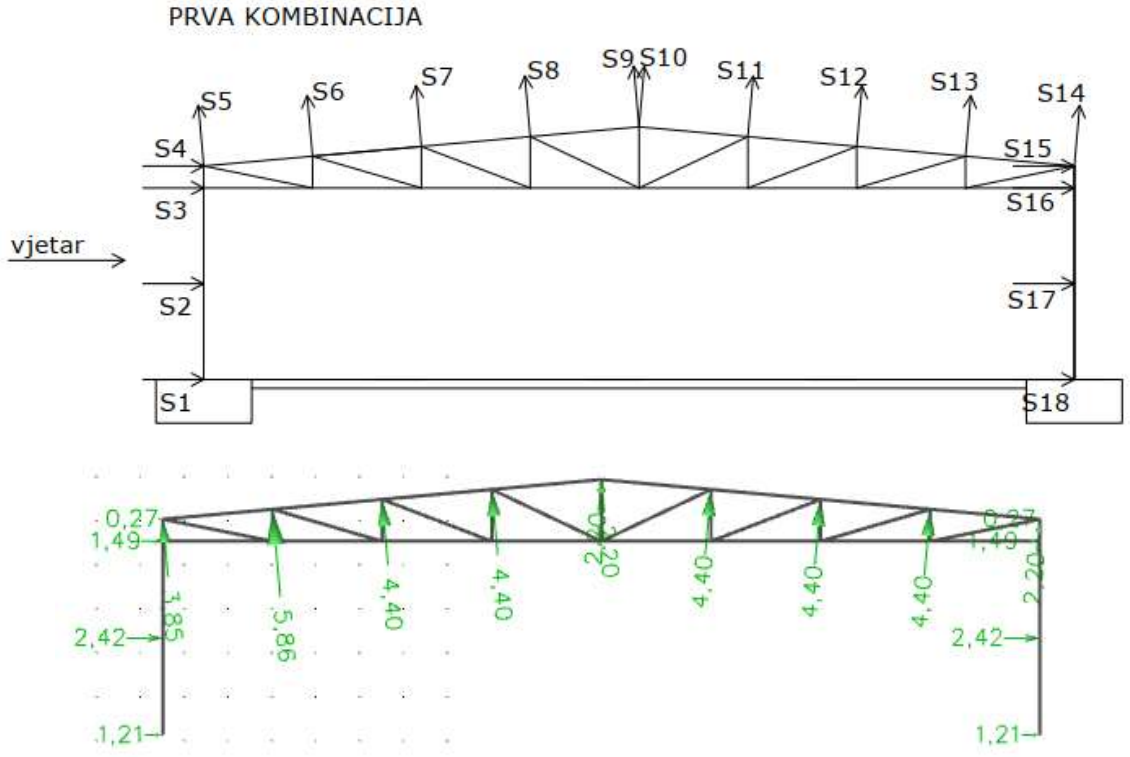


Slika 10 Opterećenje vjetrom W2 u čvorovima rešetke

Koncentrirane sile za prvu i četvrtu kombinaciju. Prva kombinacija predstavlja odižući vjetar,a četvrta pritiskajući vjetar.

PRVA KOMBINACIJA

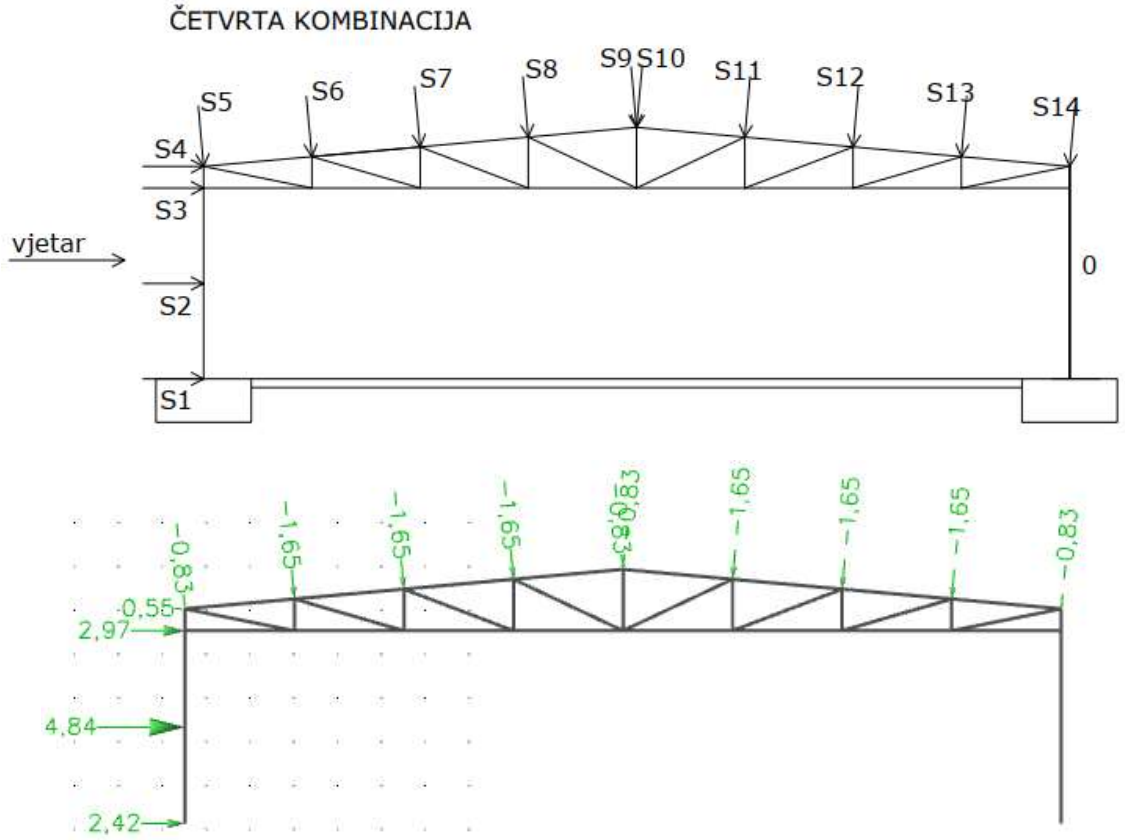
S_1= 1,21 (kN) *S_{10}= 2,20 (kN)*
S_2= 2,42 (kN) *S_{11}= 4,40(kN)*
S_3= 1,49 (kN) *S_{12}= 4,40(kN)*
S_4= 0,27(kN) *S_{13}= 4,40(kN)*
S_5= 3,85(kN) *S_{14}= 2,20(kN)*
S_6= 5,86 (kN) *S_{15}= 0,27(kN)*
S_7= 4,40 (kN) *S_{16}= 1,49 (kN)*
S_8= 4,40 (kN) *S_{17}= 2,42(kN)*
S_9= 2,20(kN) *S_{18}= 1,21(kN)*



Slika 11 Opterećenje prvom kombinacijom

ČETVRTA KOMBINACIJA

S_1= 2,42 (kN)
S_2= 4,84 (kN)
S_3= 2,97 (kN)
S_4= 0,55(kN)
S_5= 0,83(kN)
S_6= 1,65 (kN)
S_7= 1,65 (kN)
S_8= 1,65 (kN)
S_9= 0,83(kN)
S_{10}=0,83(kN)
S_{11}= 1,65(kN)
S_{12}= 1,65(kN)
S_{13}= 1,65(kN)
S_{14}= 0,83 (kN)



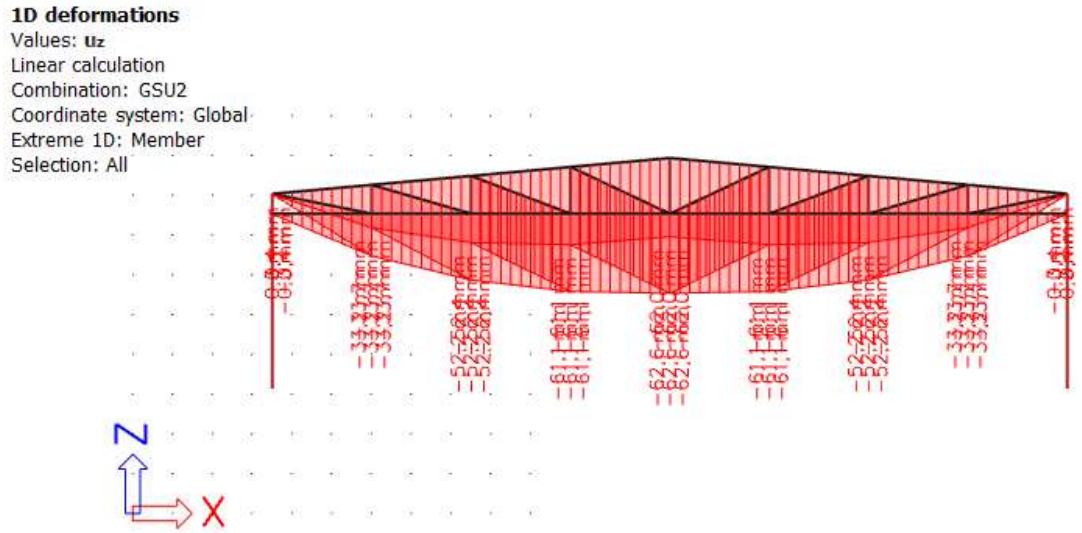
Slika 12 Opterećenje četvrtom kombinacijom

3 KONTROLA PROGIBA (GSU)

Odabrani profili za koje dobivamo vrijednosti progiba u iznosu od minimalno 80% dopuštenih progiba su: a)stup- HEA 280
b)grede dimenzija- 140x140x5

3.1 KROVIŠTE

Najveći progib krovišta dobivamo za kombinaciju GSU2- **1,0G+1,0S+1,0W2**



Slika 13Vertikalni progib rešetke

Pomak(mm)

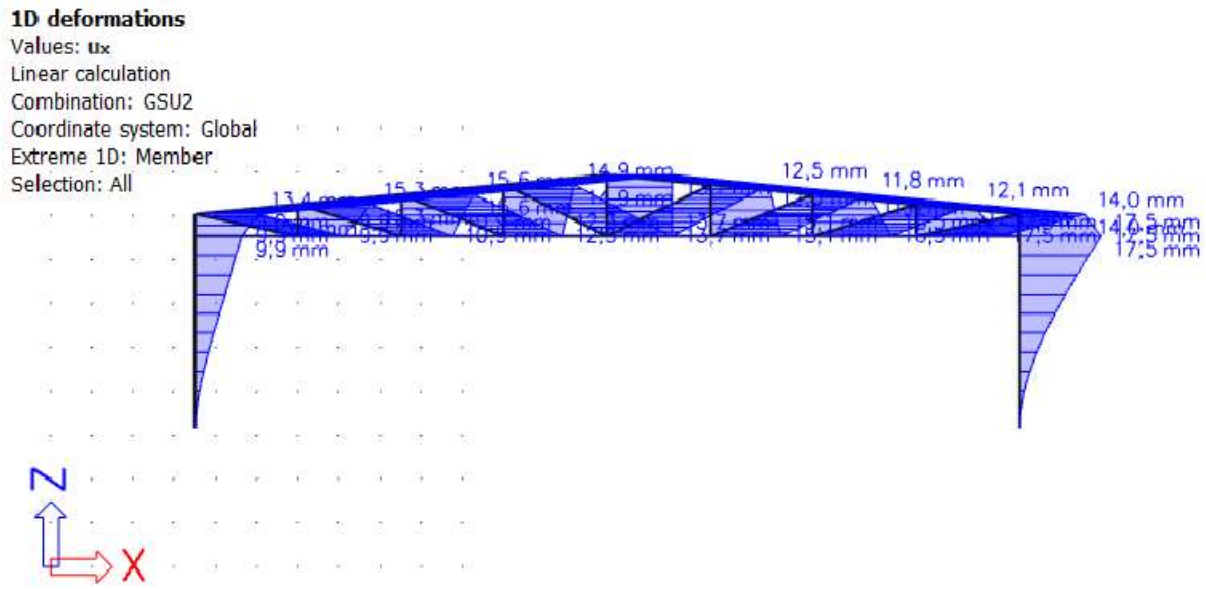
Dopušteni progib: L/250= 20000*mm*/250=80 *mm*

(62,6/80)x100=78,3%

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 78,3%.

3.2 STUP

Najveći progib stupa dobivamo za kombinaciju GSU2- **1,0G+1,0S+1,0W2**



Slika 14 Horizontalni progib stupa

Pomak(mm)

Dopušteni progib: H/200= 4400*mm*/200= 22*mm*

(17,5/22)X100= 79,5%

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 79,5%.

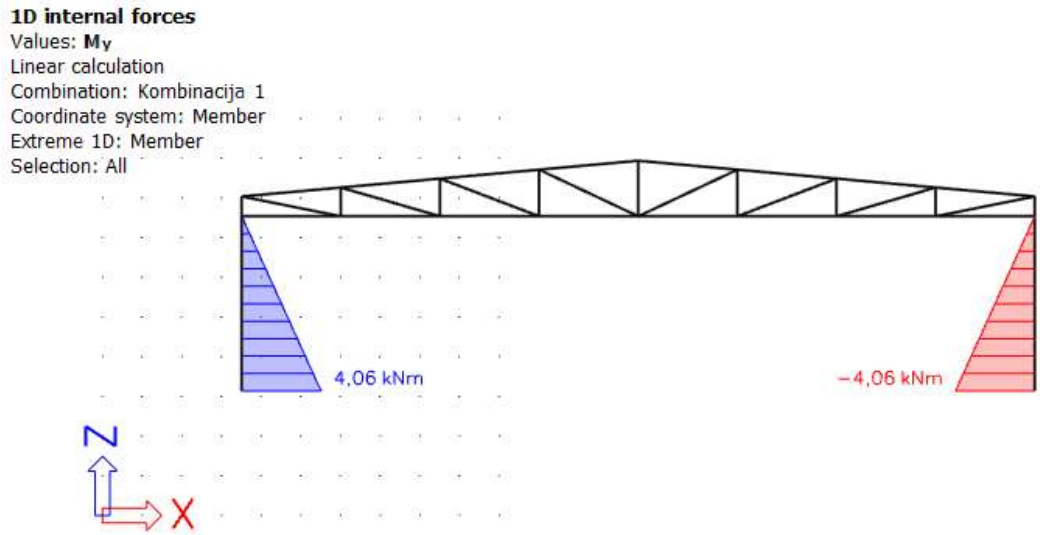
4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

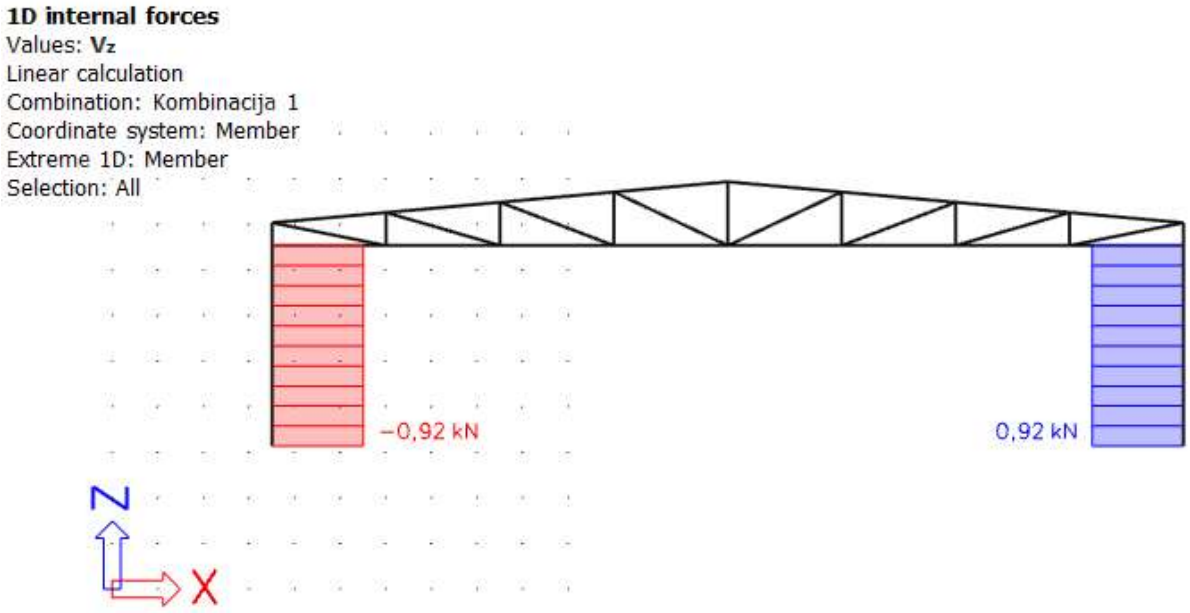
Dijagrami reznih sila su za profile za koje dobivamo vrijednosti progiba u iznosu od oko 80% dopuštenih progiba su:

a) stup – HEA280
b) grede dimenzija- 140x140x5

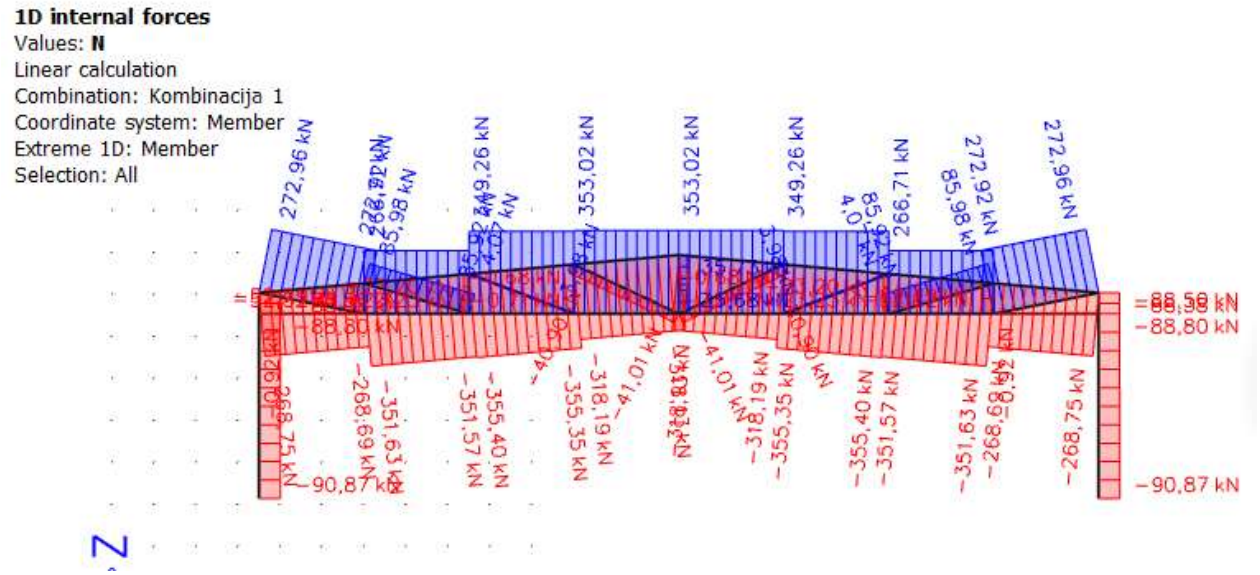
4.1.1 KOMBINACIJA 1 (1,35G+1,5S)



Slika 15 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 1

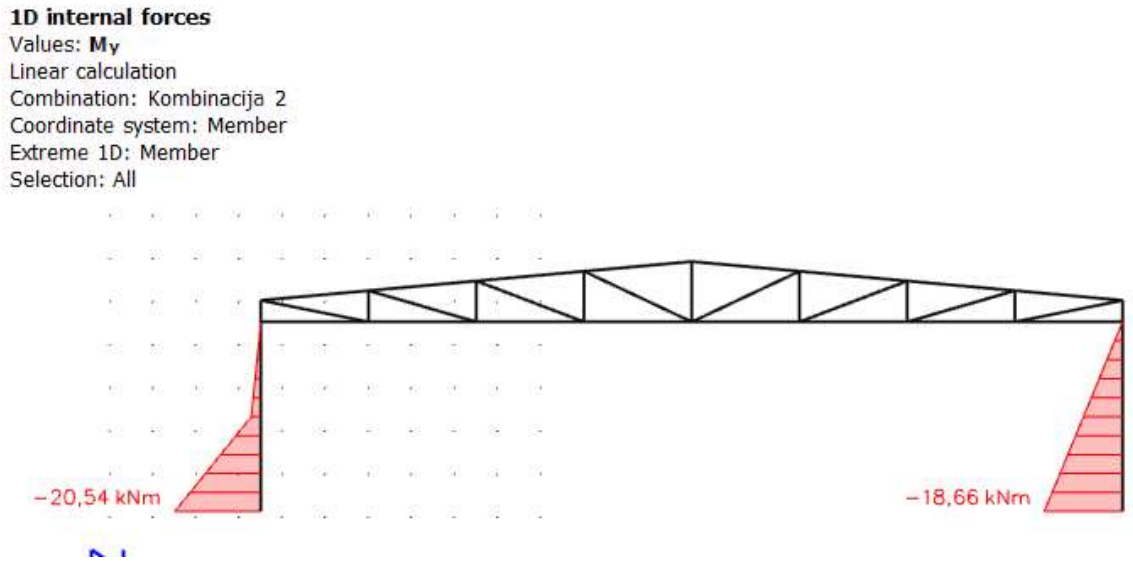


Slika 16 Dijagram poprečnih sila kombinacije 1



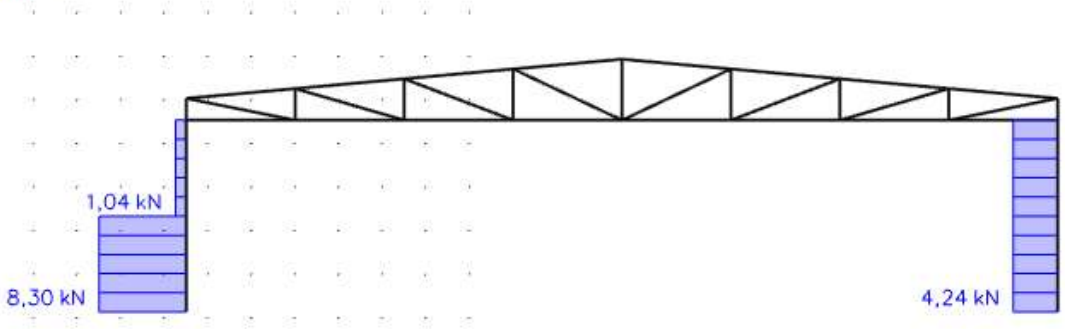
Slika 17 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 1

4.1.2 KOMBINACIJA 2 (1,35G+1,5W$_2$)



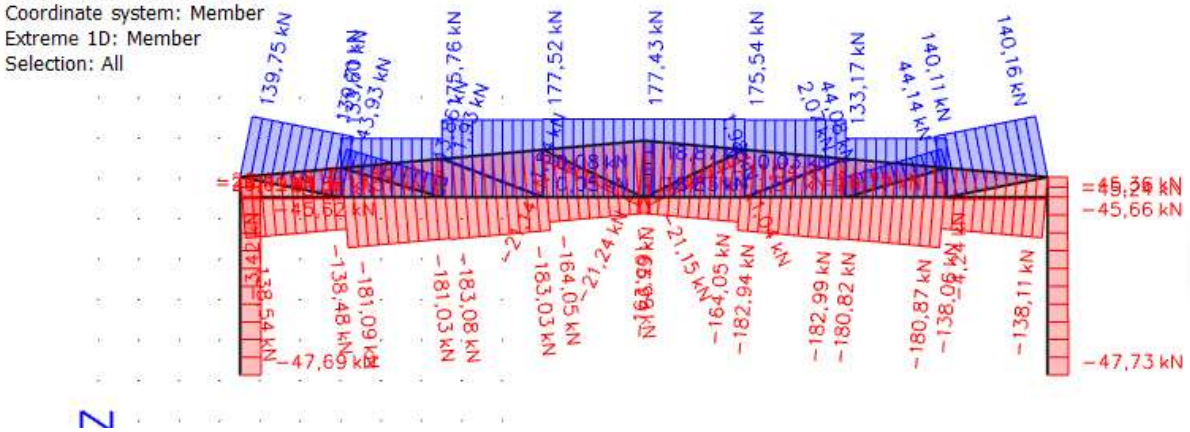
Slika 18 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 2

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: Kombinacija 2
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Member
Selection: All



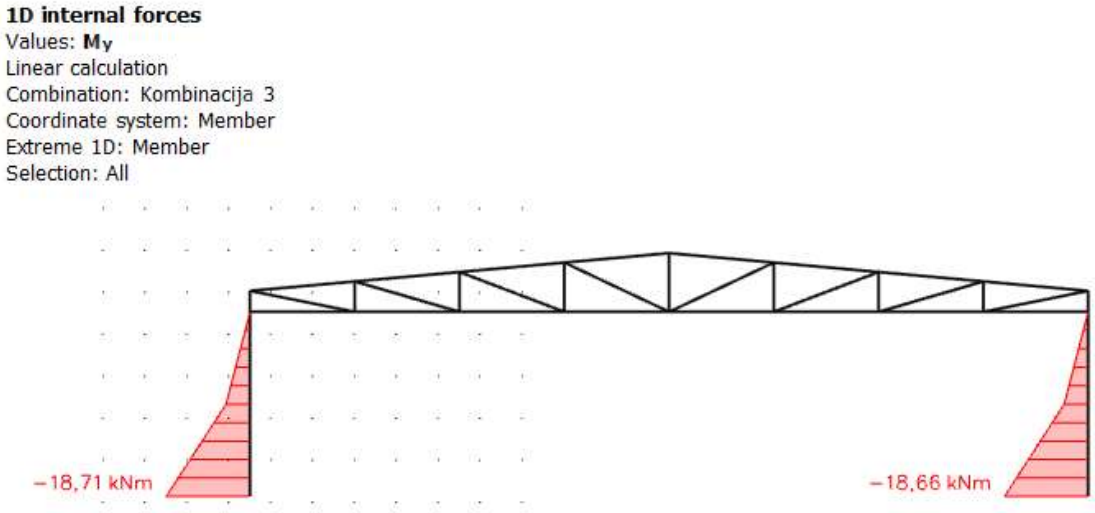
Slika 19 Dijagram poprečnih sila kombinacije 2

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

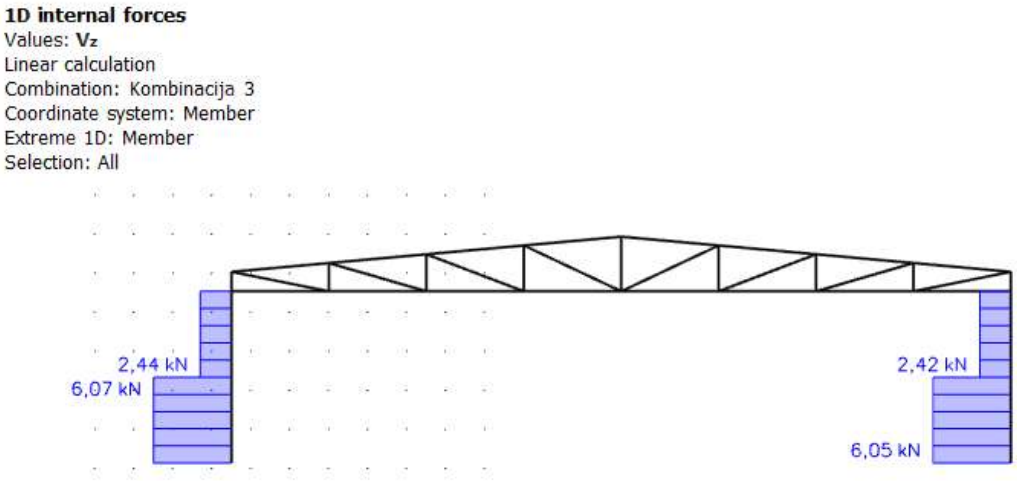


Slika 20 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 2

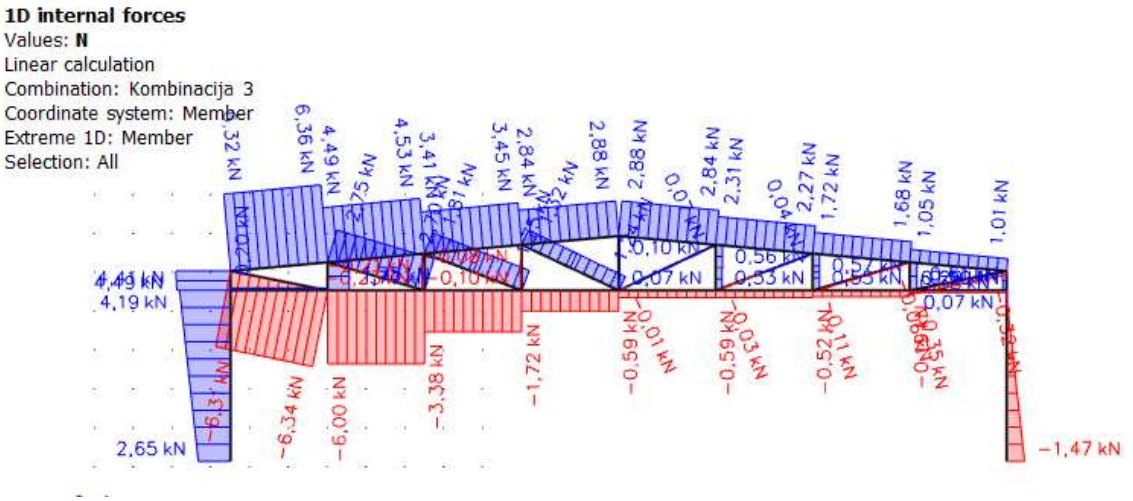
4.1.3 KOMBINACIJA 3 (1,0G+1,5W1)



Slika 21 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 3

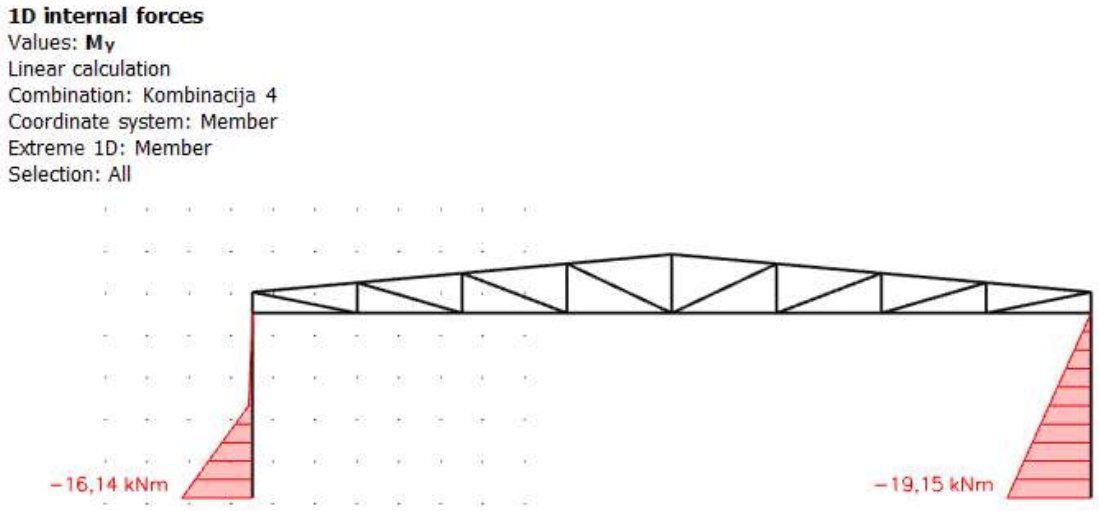


Slika 22 Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

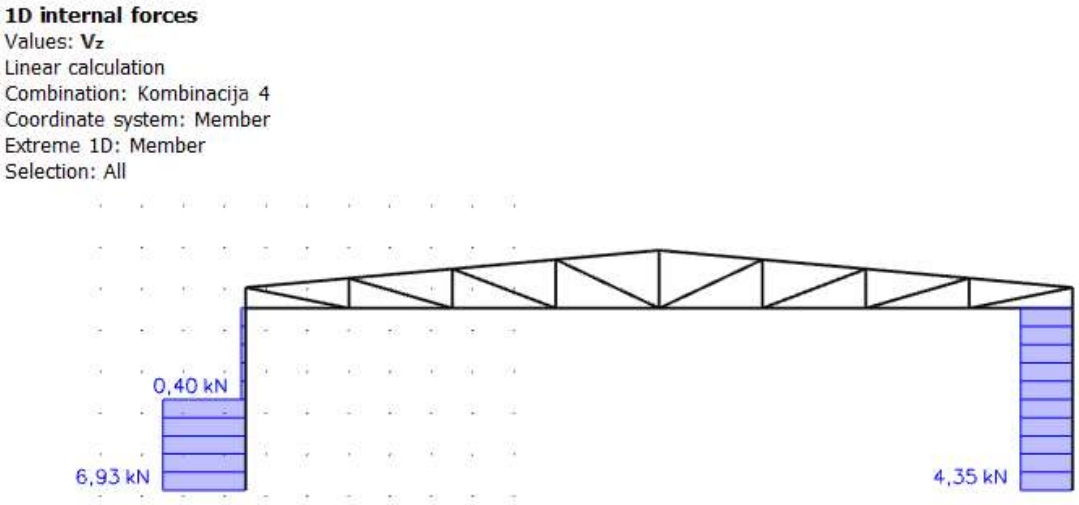


Slika 23Dijagram uzdužnih sila kombinacije 3

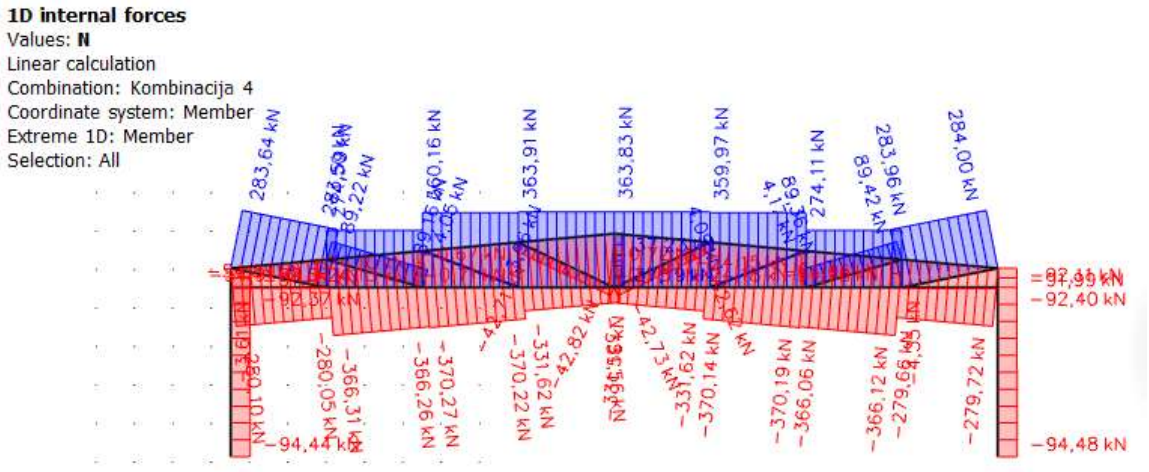
4.1.4 KOMBINACIJA 4 (1,35G+1,35W2+1,35S)



Slika 24 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 4



Slika 25 Dijagram poprečnih sila kombinacije 4

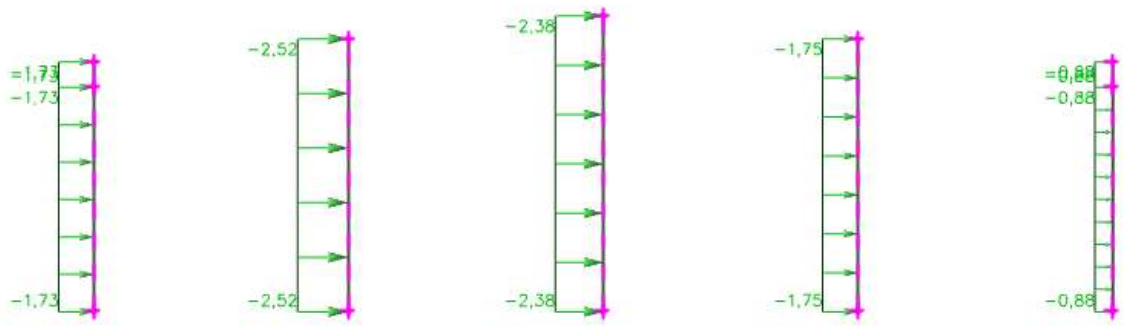


Slika 26 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 4

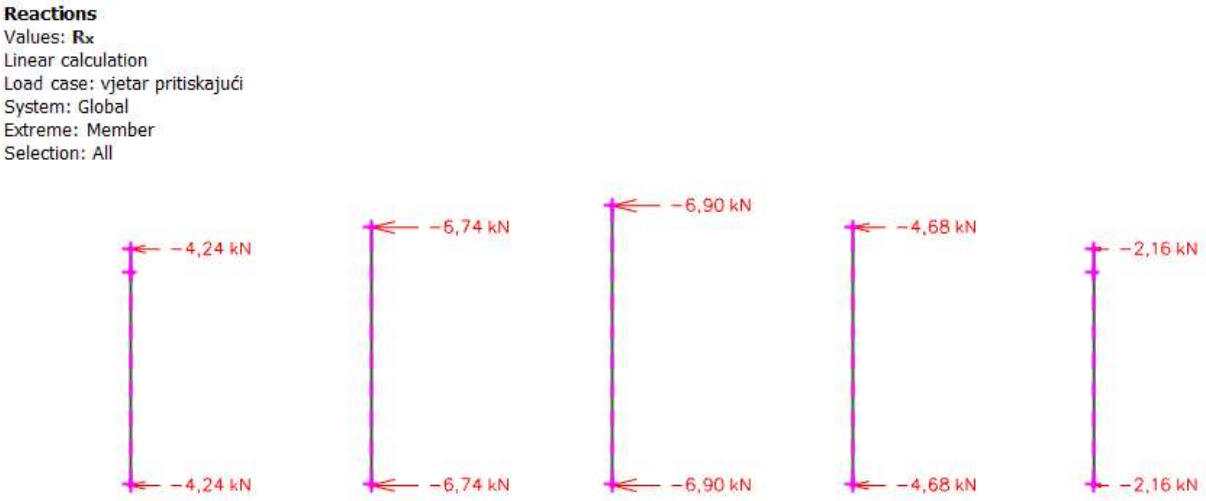
4.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

4.2.1 ZABATNI STUPOVI

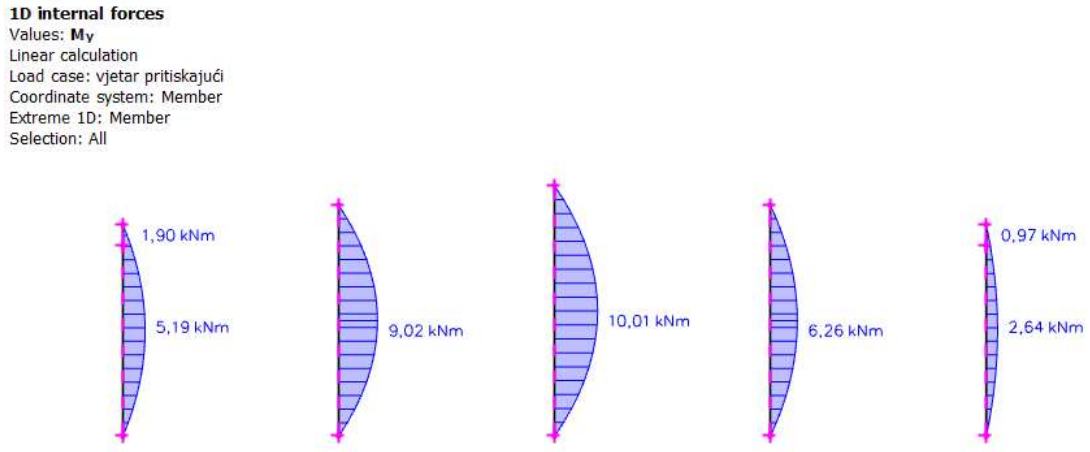
Kao mjerodavno djelovanje uzima se pritisak vjetra na zabat čelične hale.



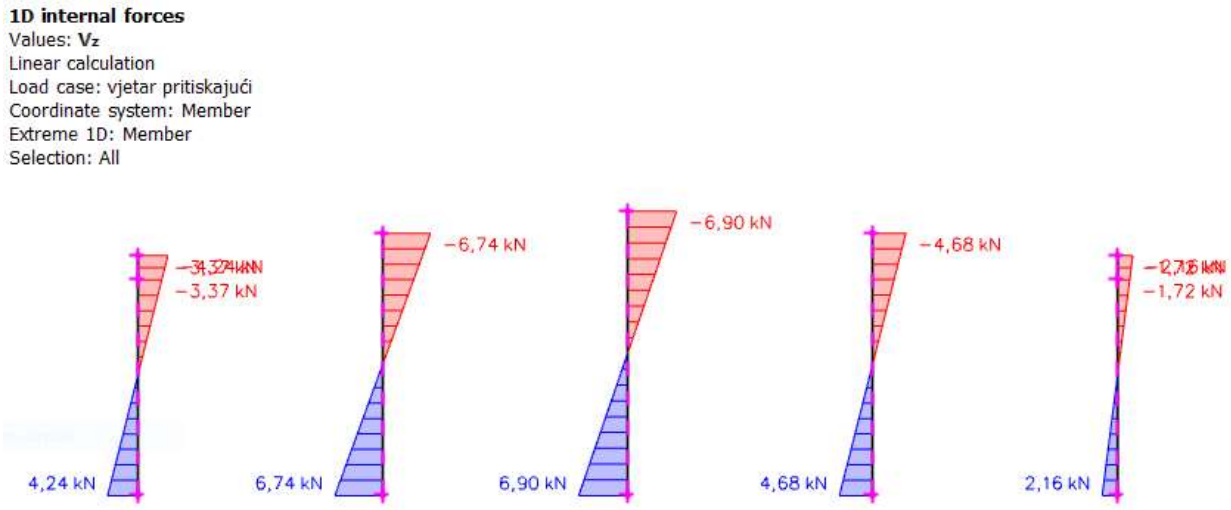
Slika 27 Model zabatnih stupova



Slika 28 Reakcije za djelovanje vjetra



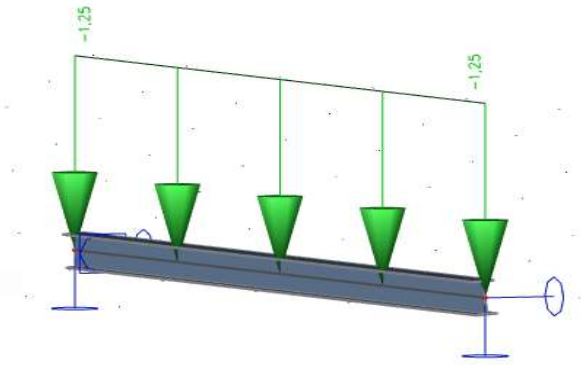
Slika 29 Momentni dijagram za djelovanje vjetra



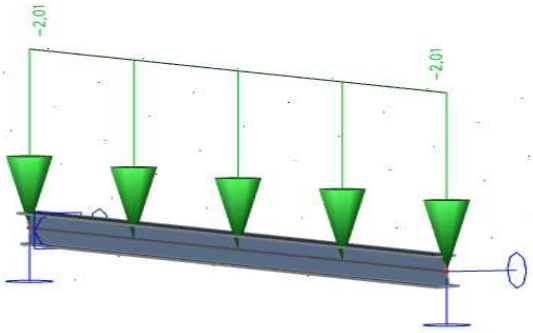
Slika 30 Dijagram poprečnih sila za djelovanje vjetra

4.2.2 KROVNA PODROŽNICA

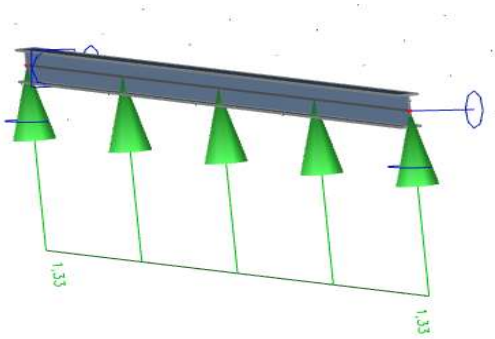
Krovne podrožnice su duljine 4400 mm. Nalaze se na osnom razmaku od 2,51 m i pod kutom od α=5,14°.
Djelovanja na krovnu podrožnicu su sljedeća:
Dodatno stalno opterećenje: G = 0,5 kN/m²·2,51 m = 1,21 kN/m'
Snijeg: S = 0,8 kN/m²·2,5 1 m = 2,01 kN/m'
Vjetar W1: W1 = 0,53 kN/ m²·2,51 m = 1,33 kN/m'
Vjetar W2: W2 = 0,15 kN/ m²·2,51 m =0,38 kN/m'



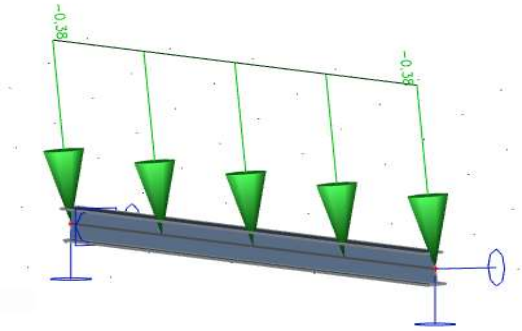
Slika 31 Model krovne podrožnice za djelovanje G



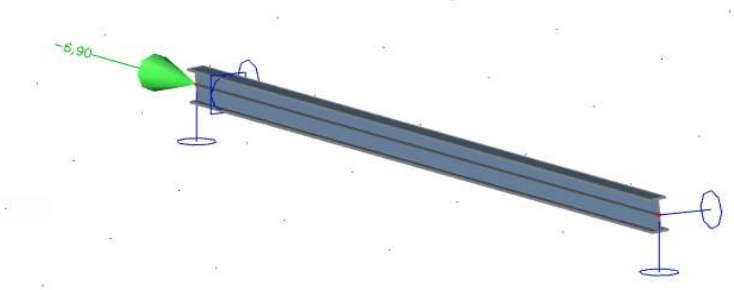
Slika 32 Model krovne podrožnice za djelovanje snijega S



Slika 33 Model krovne podrožnice za djelovanje odižućeg vjetra

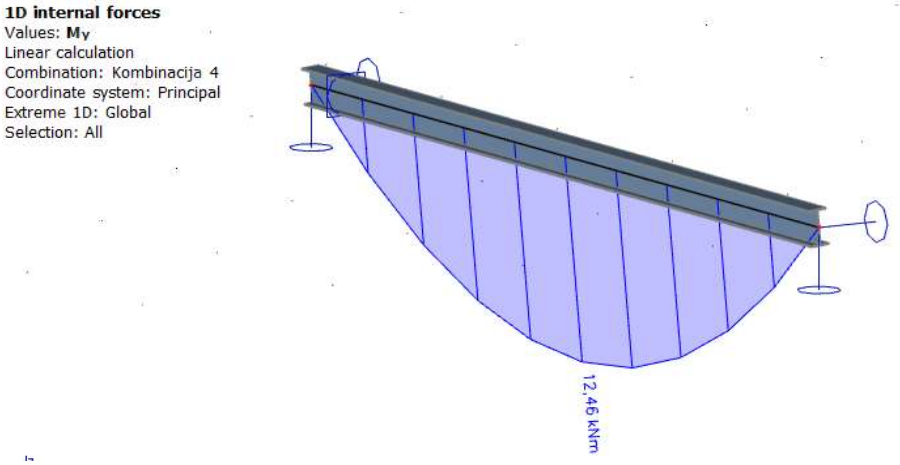


Slika 34 Model krovne podrožnice za djelovanje pritiskajućeg vjetra

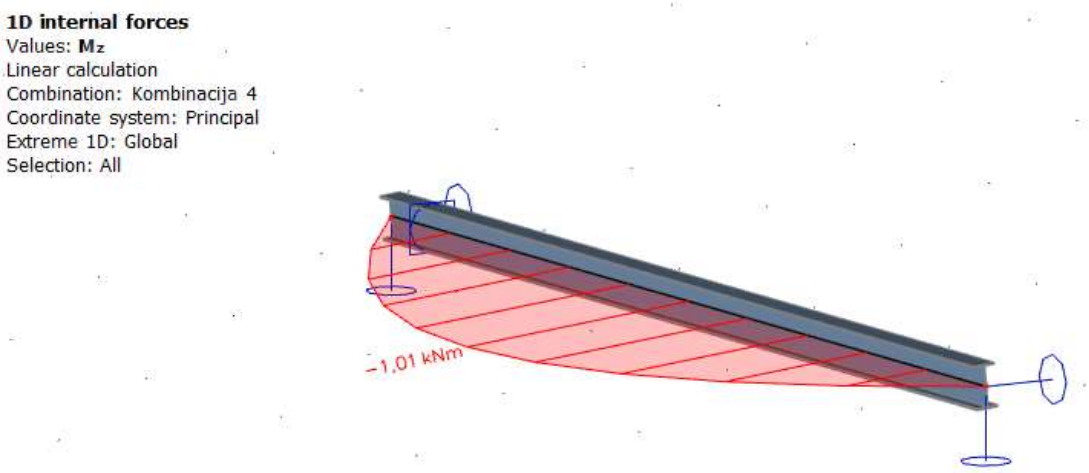


Slika 35 Model krovne podrožnice za djelovanje uzdužne sile.

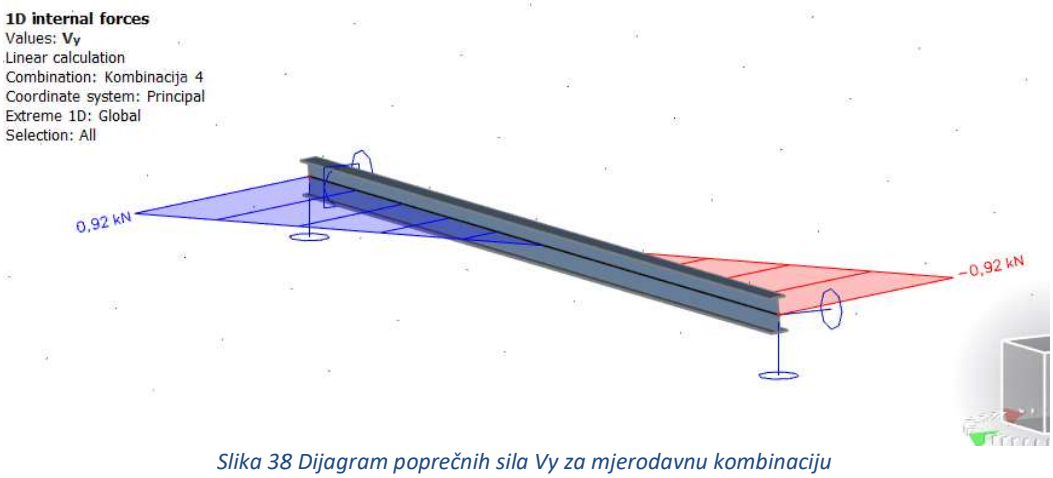
Mjerodavna kombinacija je: 4→(1,35G+1,35W2+1,35S)



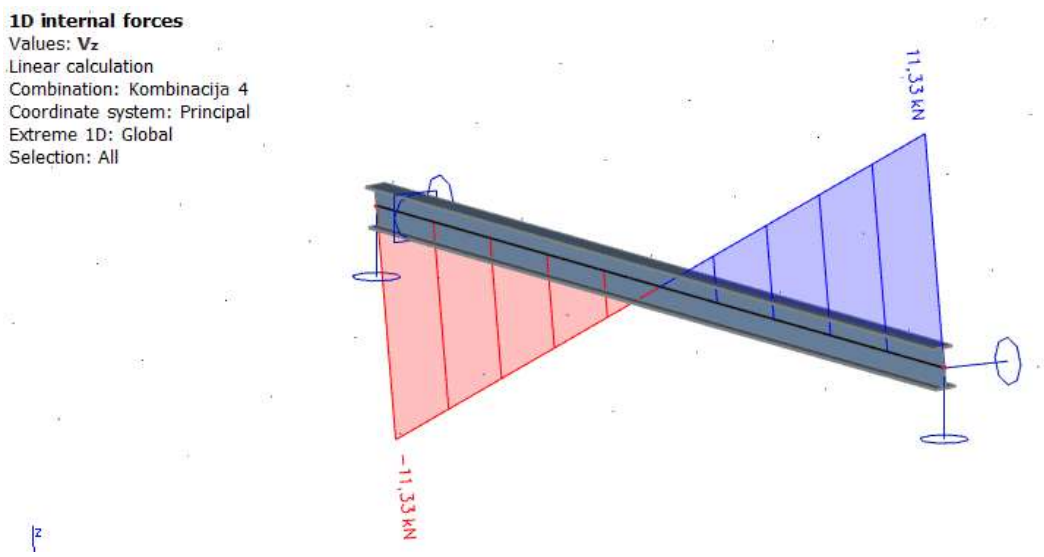
Slika 36 Momentni dijagram My za mjerodavnu kombinaciju



Slika 37 Momentni dijagram Mz za mjerodavnu kombinaciju



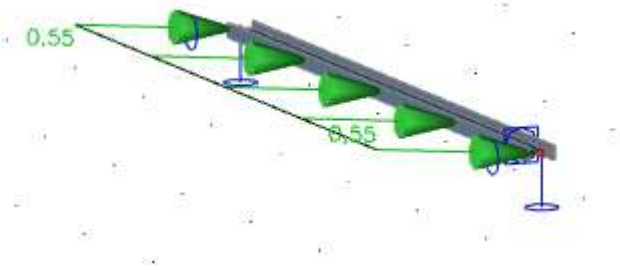
Slika 38 Dijagram poprečnih sila Vy za mjerodavnu kombinaciju



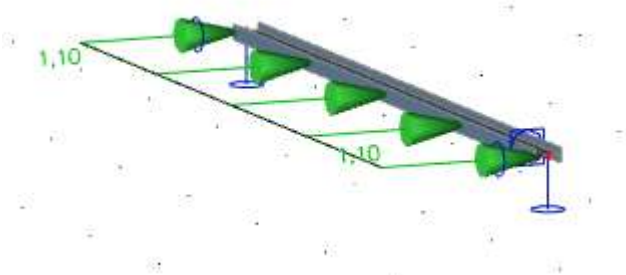
Slika 39 Dijagram poprečnih sila Vz za mjerodavnu kombinaciju

4.2.3 BOČNA PODROŽNICA

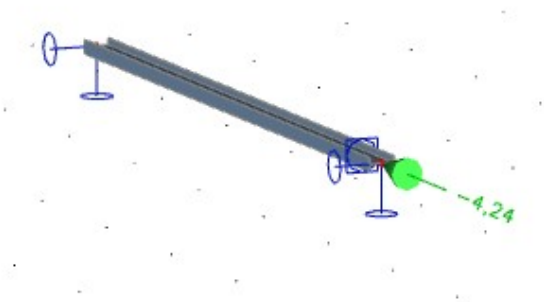
Opterećenje bočne podrožnice je uzeto za područje D i pritisak na vertikalne zidove koji iznosi
wk=0,25 kN/m² i wk= 0,50 kN/m2
n - razmak između bočnih podrožnica
Wk(1)= wk · n = 0,25 kN/m2· 2,2 m = 0,55 kN/m'
Wk(2)= 0,50 kN/m2*2,2m=1,1 kN/m'
Mjerodavna kombinacija za bočnu podrožnicu je „Kombinacija 2“: (1,35G+1,5W2)



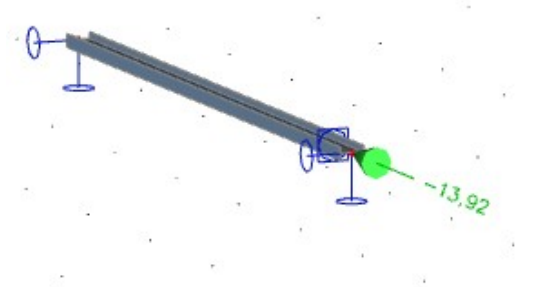
Slika 40 Model bočne podrožnice opterećen s vjetrom odižućim



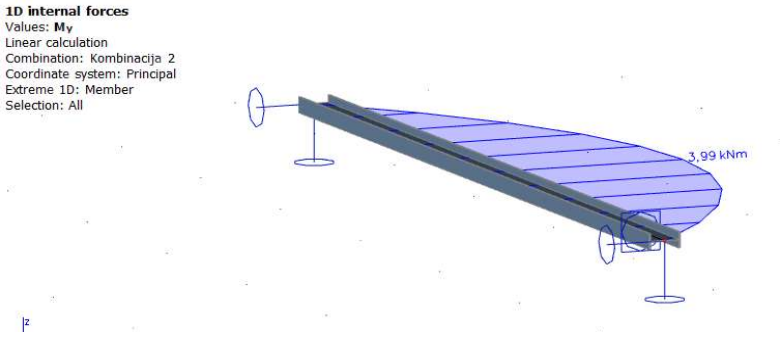
Slika 41 Model bočne podrožnice opterećen s vjetrom pritiskajućim



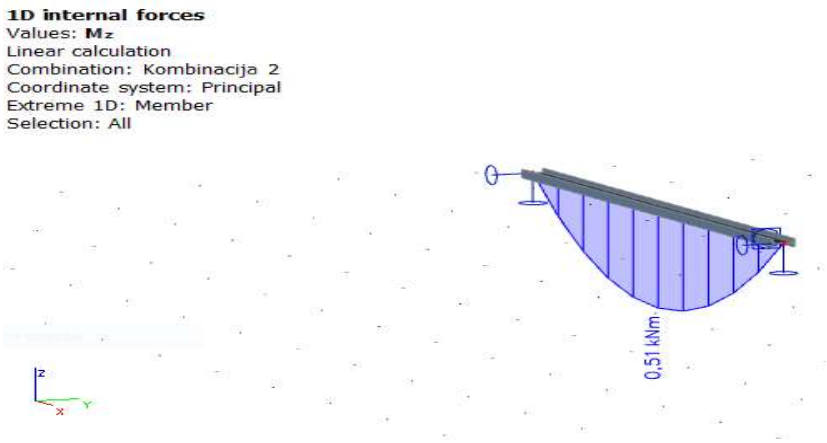
Slika 42 Model bočne podrožnice opterećen uzdužnom silom od zabatnih stupova



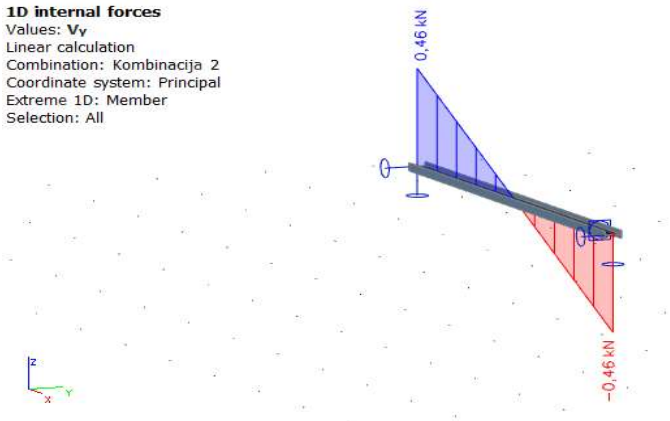
Slika 43 Model bočne podrožnice opterećen uzdužnom silom od bočnog sprega



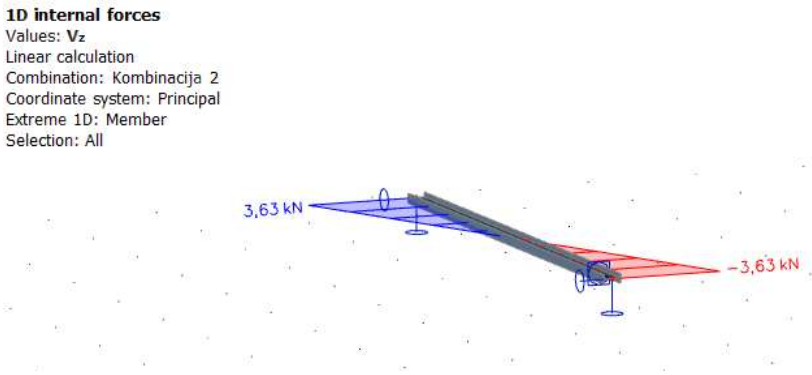
Slika 44 Momentni dijagram My za mjerodavnu kombinaciju



Slika 45 Momentni dijagram Mz za mjerodavnu kombinaciju



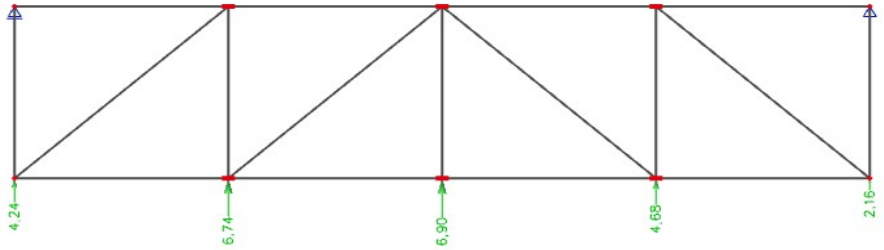
Slika 46 Dijagram poprečnih sila Vy za mjerodavnu kombinaciju



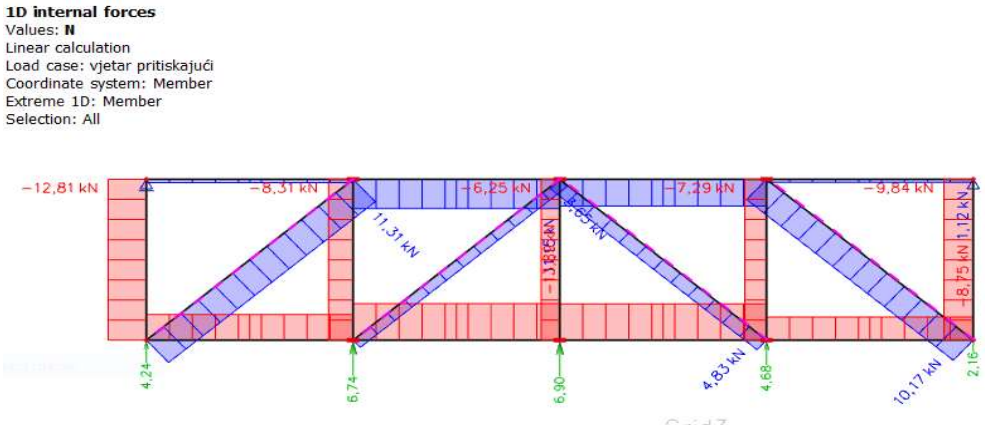
Slika 47 Dijagram poprečnih sila Vz za mjerodavnu kombinaciju

4.2.4 KROVNI (HORIZONTALNI) SPREGOVI

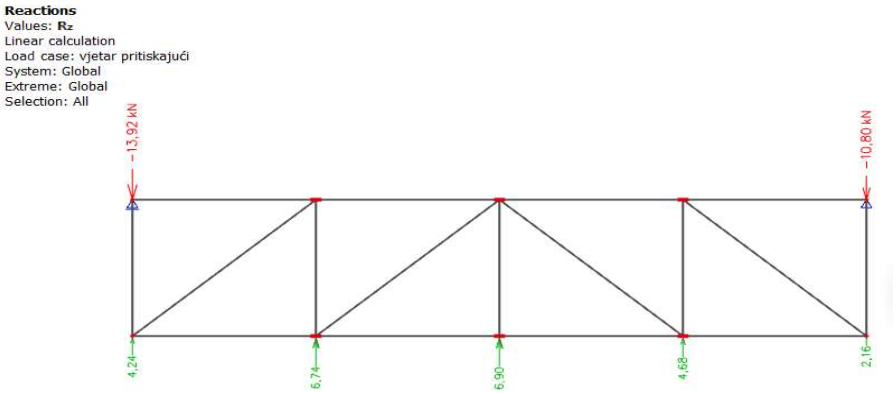
Sile koje djeluju na krovne spregove su prenesene reakcije sa zabatnih stupova.



Slika 48 Model krovnog sprega



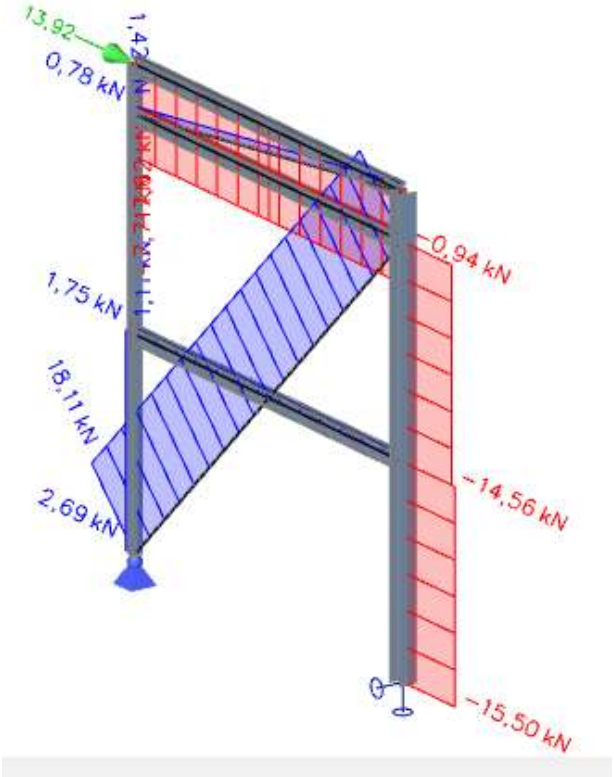
Slika 49 *Dijagram uzdužnih sila krovnog sprega*



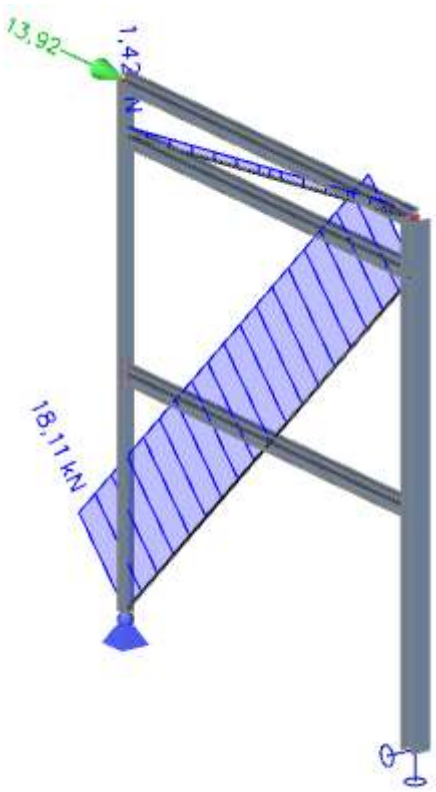
Slika 50 Reakcije na krovnoj podrožnici

4.2.5 BOČNI (VERTIKALNI) SPREGOVI

Sila koja djeluje na bočne spregove je prenesena reakcija (veća) sa krovnih spregova.



Slika 51 Dijagram uzdužnih sila bočnog sprega



Slika 52 Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama



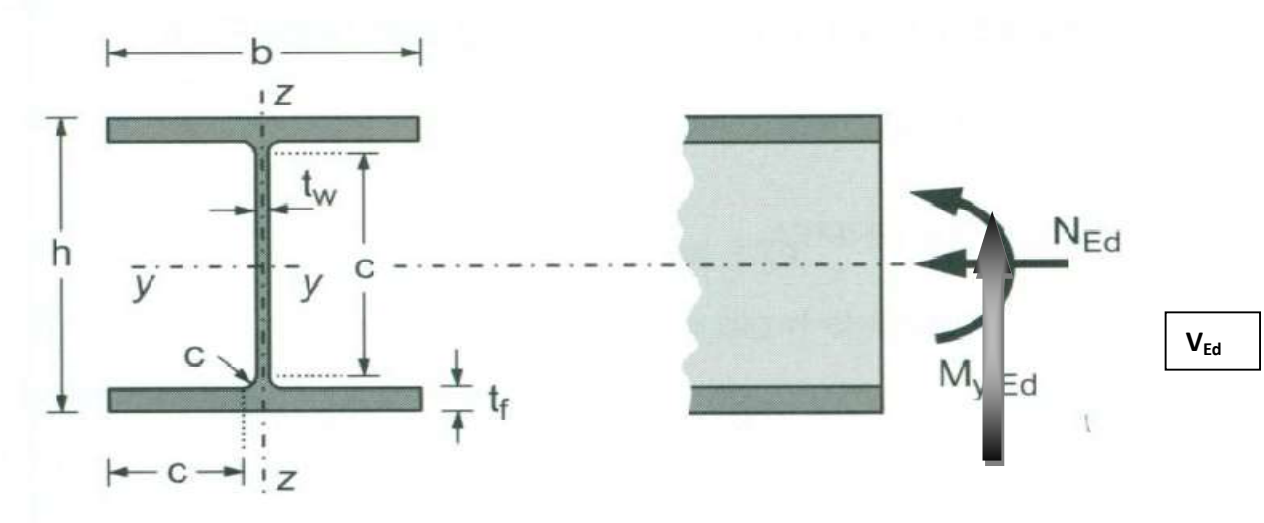
Slika 53 Dijagram uzdužnih sila u bočnim podrožnicama

5 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

5.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

5.1.1 DIMENZIONIRANJE STUPA

•POPREČNI PRESJEK



Slika 25 Poprečni presjek stupa

Profil: HEA 180
Tip presjeka: valjani
Visina presjeka: h = 171 mm
Širina pojasnice: b =180 mm
Debljina pojasnice: t_f = 10 mm
Debljina hrpta: t_w = 6 mm
Radijus: r = 15 mm
Površina: A=45,30 cm^2

Momenti tromosti: I_y=2510 cm^4
I_z=925 cm^4
Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 325 cm^3
$W_{pl,z}$ =156,67 cm^3
Konstanta krivljenja: I_w =60211 cm^6
Torzijska konstanta: I_t = 14,8 cm^4

ULAZNI PODATCI: četvrta kombinacija
Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila
→$M_{y,Ed}$ = 19,18 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 4,36kN
→ N_{Ed} = 95,15(tlak)

Materijal: S355→ f_y = 355 N/mm^2
→ ε = 0,81
→ E = 210 000 N/mm^2
→ v = 0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 171 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 121$ mm

$t_w = 6$ mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{121}{6} = 20{,}17$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{95{,}15}{2 \cdot 6 \cdot 35{,}5 / 1{,}0} = 0{,}22$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{12{,}1}\left(\frac{12{,}1}{2} + 0{,}22\right) = 0{,}52 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_W} \le \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{d}{t_W} = 20{,}17 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0{,}81}{13 \cdot 0{,}52 - 1} = 55{,}69$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{180 - 6 - 2 \cdot 15}{2} = 72 \text{ mm}$$

$t_f = 10$ mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{72}{10} = 7{,}2$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 7{,}2 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}81 = 7{,}29$$

Pojasnica je klase 1.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili (N_{Ed} = 95,15 kN)

$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45{,}30 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 1608{,}15kN$

$N_{c,Rd} = 1608{,}15kN > N_{Ed} = 95{,}15kN$

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju ($M_{y,Ed}$ = 19,18 kNm)

$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{325 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 11537{,}5kNcm = 115{,}38kNm$

$M_{c,Rd} = 115{,}38kNm > M_{y,Ed} = 19{,}18kNm$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka ($V_{z,Ed}$ = 4,36 kN)

$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{171 - 2 \cdot 10}{6} = 25{,}17$

$25{,}17 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}2} = 48{,}6$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$A_{v,z} = 43{,}50 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0{,}6 + 2 \cdot 1{,}5) \cdot 1 = 12{,}9\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 15{,}1 \cdot 0{,}6 = 10{,}87\ cm^2$

$V_{pl,z,Rd} = \frac{12{,}9 \cdot (35{,}5 / \sqrt{3})}{1{,}0} = 264{,}39\ kN$

$V_{pl,z,Rd} = 264{,}39kN > V_{z,Ed} = 4{,}36kN$

Interakcija M-V-N

Presjek u x = 0 m (dno stupa):
→$M_{y,Ed}$ = 19,18 kNm
→ $V_{z,Ed}$ = 4,36kN
→ N_{Ed} = 95,15 (tlak)

- Ako je ispunjen uvjet poprečne sile: $V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$,tada nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

$0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 264,39 = 132,19$ kN
$V_{z,Ed} = 4,36$ kN $< 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 132,19$ kN → niska razina poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile.

- Ako su ispunjeni uvjeti (1) i (2) za uzdužnu silu, tada nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

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

(2) $N_{Ed} \leq \dfrac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$N_{Ed} = 95,15$ kN $\leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 1608,15 = 402,04$kN

$N_{Ed} = 95,15$ kN $\leq \dfrac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \dfrac{0,5 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 35,5}{1,0} = 160,82$kN

} niska razina uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Profil HEA 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

-Uzdužna tlačna otpornost (N)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$ za presjeke klase 1, 2, 3

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

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

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$ za presjeke klase 1, 2, 3

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

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora za svaku os posebno.
Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0{,}95 < 1{,}2 \qquad t_f = 10\ mm < 100\ mm$$

-za os y-y: krivulja izvijanja b → α = 0,34
-za os z-z: krivulja izvijanja *c* → α = 0,49

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 880 cm (2L)

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{880^2} = 671{,}78kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{45{,}30 \cdot 35{,}5}{671{,}78}} = 1{,}55$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_y - 0{,}2) + \overline{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34 \cdot (1{,}55 - 0{,}2) + 1{,}55^2\ ] = 1{,}62$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda^2}_y}} = \frac{1}{1{,}62 + \sqrt{1{,}62^2 - 1{,}55^2}} = 0{,}48 \leq 1{,}0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z}$ = 308 cm (0,7L)

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{308^2} = 2020{,}97kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{45{,}30 \cdot 35{,}5}{2020{,}97}} = 0{,}89$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_z - 0{,}2) + \overline{\lambda}_z^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}49 \cdot (0{,}89 - 0{,}2) + 0{,}89^{\,2}\ ] = 1{,}07$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \overline{\lambda_z^{\,2}}}} = \frac{1}{1{,}07 + \sqrt{1{,}07^2 - 0{,}89^2}} = 0{,}60 \leq 1{,}0$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0,48$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,48 \cdot 45,30 \cdot 35,5}{1,0} = 771,91kN > N_{Ed} = 95,15kN$$

<u>-Otpornost elementa na savijanje (M)</u>

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = H = 440,0 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{17,1}{2} = 8,55cm$$

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

k = 1,0 $C_1 = 1,77$
$k_w = 1,0$ $C_2 = 0$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1,0 \cdot 440)^2} \cdot \left[\sqrt{(\frac{1,0}{1,0})^2 \cdot \frac{60211}{14,8} + \frac{(1,0 \cdot 440)^2 \cdot 8077 \cdot 14,8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0 \cdot 8,55)^2} - \right.$$

$$\left. -0 \cdot 8,55 \right] = 113444,94kNcm = 1134,45kNm$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 325cm^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{325 \cdot 35,5}{113444,94}} = 0,32 < \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_Y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 325 \cdot 35,5}{1,0} = 11537,5\text{kNcm} = 115,38\text{kNm}$$

$M_{b,Rd}$ = 115,38 kNm >$M_{y,Ed}$ = 19,18kNm

-Interakcija M-N

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za $\bar{\lambda}_z = 1,15 > 0,4$:

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

$\alpha_h = M_h / M_s = 0/20,71=0$
$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0/20,71=0$

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

$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[1+(1,55 - 0,2) \cdot \frac{95,15}{0,48 \cdot 1608,15 / 1,0}\right] = 1,01$

$k_{yy} = 1,31 > 0,95 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{95,15}{0,48 \cdot 1608,15 / 1,0}\right] = 1,04$

$k_{yy} = 1,01$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,89}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{95,15}{0,601 \cdot 1608,15/1,0}\right] = 0,987$$

$$k_{zy} = 0,987 < \left[1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{95,15}{0,601 \cdot 1608,15/1,0}\right] = 0,986$$

$k_{zy} = 0,987$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M0}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} \le 1,0$$

$$\frac{95,15}{0,48 \cdot 1608,15/1,0} + 1,01 \cdot \frac{19,18}{1 \cdot 115,38/1,0} = 0,29 \le 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M0}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M0}} \le 1,0$$

$$\frac{95,15}{0,601 \cdot 1608,15/1,0} + 0,987 \cdot \frac{19,18}{1 \cdot 115,38/1,0} = 0,26 \le 1,0$$

Profil HEA 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti: η = 29%.

Postoji još i kombinacija u kojoj je moment na stupu veći, ali on iznosi 20,71kNm. Dakle, za 1,53kNm je veći, ali uzdužna sila je 48,36kN (tlak), a poprečna je 8,29kN. Dok su u ovoj kombinaciji rezne sile: M=19,18kNm, V=4,36kN , N=95,15kN (tlak) pa je ovo kritičnija kombinacija.

5.1.2 DIMENZIONIRANJE REŠETKE

Gornji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 140×140×5
Tip presjeka:
hladno
oblikovani
Visina
presjeka:
h=140 mm
Širina
pojsnice:
b=140 mm
Debljina
pojasnice: t=5
mm Površina:
A=26,36 cm^2
Moment tromosti:
Iy=790,56 cm^4
I_Z=790,56 cm^4

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:
– uzdužna sila N_{Ed}=373,31 kN (tlak)

Klasifikacija p.p

Provjerra-pojasnice

(pojasnica izložena tlaku).

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

$c = b - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 5 = 125\ mm$
$t = 5\ mm$
$\frac{c}{t} = \frac{125}{5} = 25$
c
– $= \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73$

$25 \leq 26{,}73$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili (N_{Ed} = 372,41 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26{,}36 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 935{,}78kN$$

$$N_{c,Rd} = 935{,}78kN > N_{Ed} = 372{,}41kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora provesti za svaku os posebno.

Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{140}{140} = 1{,}00 < 1{,}2 \qquad t_f = 5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-za bilo koju os je krivulja izvijanja *c* → α = 0,49

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 251,0cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790{,}56}{251{,}0^2} = 2600{,}79kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{26{,}36 \cdot 35{,}5}{2600{,}79}} = 0{,}59$$

$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^{\,2}] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,59-0,2) + 0,59^2] = 0,77$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda^2}_y}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,59^2}} = 0,79 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z} = 502$ cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{502^2} = 650,19kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{650,19}} = 1,19$$

$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^{\,2}] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,19-0,2) + 1,19^2] = 1,45$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \overline{\lambda_z}^{\,2}}} = \frac{1}{1,45 + \sqrt{1,45^2 - 1,19^2}} = 0,44$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0,44$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,44 \cdot 26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 411,74kN > N_{Ed} = 372,41kN$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355,zadovoljava provjeru sa iskoristivosti: η=(372,41/411,74)*100=90,45%

Donji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 140×140×5
Tip presjeka: hladno oblikovani
Visina presjeka: h=140 mm
Širina pojsnice: b=140 mm
Debljina pojasnice: t=5 mm
Površina: A=26,36 cm^2
Moment tromosti: I_y=790,56 cm^4
I_z=790,56 cm^4

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:
– uzdužna sila N_{Ed}=366,14 kN (vlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

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

$$c = b - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 5 = 125\ mm$$
$$t = 5mm$$
$$\frac{c}{t} = \frac{125}{5} = 25$$
$$\frac{c}{-} = \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu 1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili (N_{Ed} = 366,14 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26{,}36 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 935{,}78kN$$

$$N_{c,Rd} = 935{,}78kN > N_{Ed} = 366{,}14kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355,zadovoljava provjeru sa iskoristivosti: η=(366,14/935,75)*100=39,13%

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili (N_{Ed} = 4,81 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26{,}36 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 935{,}78kN$$

$$N_{c,Rd} = 935{,}78kN > N_{Ed} = 4{,}81kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

Budući da nisu jednake mogućnosti izvijanja oko y-y i z-z osi, proračun se mora provesti za svaku os posebno.
Za valjani I profil, izvijanje uslijed tlačne sile:

$$\frac{h}{b} = \frac{140}{140} = 1{,}00 < 1{,}2 \qquad t_f = 5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

-za bilo koju os je krivulja izvijanja *c* → α = 0,49

Izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 1000,0cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{1000,0^2} = 163,85kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{163,85}} = 2,39$$

$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_y - 0,2) + \overline{\lambda}_y^{\,2}] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,39 - 0,2) + 2,39^{\,2}] = 3,89$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda^2}_y}} = \frac{1}{3,89 + \sqrt{3,89^2 - 2,39^2}} = 0,14 \leq 1,0$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z}$ = 250 cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 790,56}{250^2} = 2621,64kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{26,36 \cdot 35,5}{2621,64}} = 0,59$$

$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_z - 0,2) + \overline{\lambda}_z^{\,2}] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^{\,2}] = 0,77$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \overline{\lambda_z}^{\,2}}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,59^2}} = 0,79$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0,14$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,14 \cdot 26,36 \cdot 35,5}{1,0} = 131,01kN > N_{Ed} = 4,81kN$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355,zadovoljava provjeru sa iskoristivosti: η=(4,81/131,01)*100=3,67%

Vertikale

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 40×40×4
Tip presjeka: hladno oblikovani
Visina presjeka: h=40 mm
Širina pojsnice: b=40 mm
Debljina pojasnice: t=4 mm
Površina: A=3,01cm^2
Moment tromosti: I_y=11,07 cm^4
I_z=11,07 cm^4

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:
– uzdužna sila N_{Ed}=37,13 kN (vlak)
N_{Ed}=54,84 kN (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice (pojasnica izložena tlaku).

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

$$c = b - 3 \cdot t = 40 - 3 \cdot 4 = 28\ mm$$
$$t = 4\ mm$$
$$\frac{c}{t} = \frac{28}{4} = 7$$
$$\frac{c}{-} = \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73$$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili (N_{Ed} = 37,13kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5{,}35 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 189{,}93kN$$

$$N_{c,Rd} = 189{,}93kN > N_{Ed} = 37{,}13kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili (N_{Ed} = 54,84 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5{,}35 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 189{,}93kN$$

$$N_{c,Rd} = 189{,}93kN > N_{Ed} = 54{,}84kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

- krivulja izvijanja *c* → α = 0,49

L_{cr} = 36,0cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 11{,}07}{36^2} = 1770{,}36kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5{,}35 \cdot 35{,}5}{1770{,}36}} = 0{,}33 < 0{,}4$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \overline{\lambda^2}_y}} = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 5{,}35 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 189{,}93 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 189{,}93kN > N_{Ed} = 54{,}84kN$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355,zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

η=(54,84/189,30)*100=28,97%

Dijagonale

POPREČNI PRESJEK:

Profil: CFHRS 60×60×4
Tip presjeka:
hladno
oblikovani
Visina presjeka:
h=60 mm Širina
pojsnice: b=60
mm Debljina
pojasnice: t=4
mm Površina:
A=8,55 cm^2
Moment tromosti:
I_y=43,55 cm^4
I_z=43,55cm^4

ULAZNI PODACI→ djelovanje:

– uzdužna sila N_{Ed}=286,19kN (vlak)
N_{Ed}=43,14 kN (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Provjera pojasnice(pojasnica izložena tlaku).

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

$c = b - 3 \cdot t = 60 - 3 \cdot 4 = 48\ mm$

$t = 4\ mm$

– $\frac{c}{t} = \frac{48}{4}$

– $= 12 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73$

Pojasnica zadovoljava uvjet za klasu1.

Poprečni presjek zadovoljava uvjet za klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili (N_{Ed} = 286,19kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8{,}55 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 303{,}53kN$$

$$N_{c,Rd} = 303{,}53kN > N_{Ed} = 286{,}19kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili (N_{Ed} = 43,14kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8{,}55 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 303{,}53kN$$

$$N_{c,Rd} = 303{,}53kN > N_{Ed} = 43{,}14kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava.

Otpornost elementa na izvijanje

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

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

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

Elastična sila i bezdimenzijska vitkost na izvijanje savijanjem:

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

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

- krivulja izvijanja *c* → α = 0,49

L_{cr} = 136,0cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 43{,}55}{136^2} = 488{,}01kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8{,}55 \cdot 35{,}5}{488{,}01}} = 0{,}79$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\, 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_y - 0{,}2) + \overline{\lambda}_y^{\,2}\,] = 0{,}5 \cdot [\, 1 + 0{,}49 \cdot (0{,}79-0{,}2) + 0{,}79^2\,] = 0{,}96$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda^2}_y}} = \frac{1}{0{,}96 + \sqrt{0{,}96^2 - 0{,}79^2}} = 0{,}66 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}66 \cdot 8{,}55 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 200{,}33kN$$

$$N_{b,Rd} = 200{,}33kN > N_{Ed} = 43{,}14kN$$

Otpornost elementa zadovoljava.

Odabrani pravokutni šuplji poprečni presjek, kvalitete čelika S355,zadovoljava provjeru sa iskoristivosti:

η=(43,14/200,33)*100=21,53%

5.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.2.1 ZABATNI STUPOVI

Profil: HE100

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: h = 96 mm
Širina pojasnice: b = 100 mm

Debljina pojasnice: t_f = 8 mm

Debljina hrpta: t_w = 5 mm

Radijus: r = 12 mm

Površina: A=21,20 cm^2

Djelovanje:
M_{ed} = 10,01 kNm
V = 6,90 kN

Momenti tromosti: I_y=349,20 cm^4
I_z= 133,80 cm^4

Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 83,01 cm^3
$W_{pl,z}$ = 41,14 cm^3

Konstanta krivljenja: I_w= 2,58 cm^6

Torzijska konstanta: I_t= 5,24 cm^4

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f - 2 * r}{t_w} = \frac{96 - 16 - 24}{5} = 11{,}20$$

$11{,}20 < 72\varepsilon = 11{,}20 < 58{,}32$

Hrbat je klase 1

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{100 - 5 - 24}{2} = 35{,}5$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35{,}5}{8} < 9\varepsilon = 4{,}44 < 7{,}29$$

Pojasnica je klase 1

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{83{,}01 * 35{,}5}{1} = 2946{,}86 kNcm = 29{,}47\ kNm$$

$M_{c,Rd} = 29{,}47\ kNm > M_{Ed} = 10{,}01\ kNm$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{96 - 16}{5} = 16$$

$$16 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 48{,}6$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$

$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$
$A_{v,z} = 21{,}20 - 2 \cdot 10 \cdot 0{,}8 + (0{,}5 + 2{,}4) \cdot 0{,}8 = 7{,}52 cm^2 \geq 1{,}2 \cdot 8 \cdot 0{,}5 = 4{,}80\ cm^2$

$$V_{pl,Rd} = \frac{7{,}52 \cdot (\frac{35{,}5}{\sqrt{3}})}{1}$$
$V_{pl,Rd} = 154{,}13\ kN$
$V_{pl,Rd} = 154{,}13 \geq V_{Ed} = 6{,}90\ kN$

Interakcija M-V
$0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 * 154{,}13 = 77{,}07 kN$
$V_{z,Ed} = 6{,}90 < 0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 77{,}07 kN$
$M_{y,V,Rd} = M_{y.c.Rd} = 29{,}47\ kNm$
$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{10{,}01}{29{,}47} = 0{,}34 < 1$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 133{,}80}{580^2} \cdot \left[\sqrt{1^2 \cdot \frac{2{,}58}{133{,}80} + \frac{580^2 \cdot 8077 \cdot 5{,}24}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 133{,}80} + (0{,}454 \cdot 4{,}8)^2} - 0{,}454 \cdot 4{,}8 \right] = 19{,}12\ \text{kNm}$$

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{96}{2} = 48\ \text{mm}$
$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21000}{2(1+0{,}3)} = 8077\ \text{kN/cm}^2$
$k = 1{,}0 \qquad C_1 = 1{,}127$
$k_w = 1{,}0 \qquad C_2 = 0{,}454$
$L = 580\ cm$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{83{,}01 \cdot 35{,}5}{1912{,}39}} = 1{,}24 > 0{,}4$$
$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{1{,}38 + \sqrt{1{,}38^2 - 1{,}24^2}} = 0{,}50 < 1$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^2\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (1{,}24 - 0{,}2) + 1{,}24^2\ ] = 1{,}38$
Za krivulju izvijanja a → $\alpha = 0{,}21$

$$M_{b,Rd} = \chi_y * \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M,1}}$$
$$M_{b,Rd} = 0{,}50 * \frac{83{,}01 * 35{,}5}{1} = 14{,}73\ kNm$$
$M_{b,Rd} = 14{,}73 > M_{y,Ed} = 10{,}01$
$\eta = \frac{10{,}01}{14{,}73} = 0{,}68 = 67{,}96\ \%$

Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 67,96 %.

5.2.2 KROVNI SPREG

Za spregove je odabran profil **RD14**
Maksimalna vlačna sila: $N = 11{,}31\ kN$
$A = 1{,}54\ cm^2$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1{,}54 * 35{,}5}{1} = 54{,}67\ kN > N_{Ed} = 11{,}31 kN$$

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{11{,}31}{54{,}67} = 0{,}207 = 20{,}69\ \%$$

Profil RD14, kvalitete čelika S355, zadovoljava GSN sa iskoristivosti η=20,69%.

5.2.3 BOČNI SPREG

Za spregove je odabran profil **RD14**
Maksimalna vlačna sila: $N = 18{,}11\ kN$
$A = 1{,}54\ cm^2$

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1{,}54 * 35{,}5}{1} = 54{,}67 kN > N_{Ed} = 18{,}11 kN$$

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{18{,}11}{54{,}67} = 0{,}331 = 33{,}13\%$$

Profil RD14, kvalitete čelika S355, zadovoljava GSN sa iskoristivosti η=33,13%.

5.2.4 KROVNA PODROŽNICA

Profil: IPE 180

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: h = 180 mm

Širina pojasnice: b =91 mm

Debljina pojasnice: t_f = 8 mm

Debljina hrpta: t_w =5 mm

Radijus: r =9 mm

Površina: A=23,90 cm^2

Momenti tromosti: I_y=1317 cm^4

I_z= 100,9 cm^4

Momenti otpora: $W_{pl,y}$= 166,4 cm^3

$W_{pl,z}$= 34,60 cm^3

Konstanta krivljenja: I_w= 7,43 cm^6

Torzijska konstanta: I_t= 4,79cm^4

Djelovanje uslijed kombinacije:
1,35*(G_0+G_1)+0,9*1,5*(S+W2)

$M_{y,Ed} = 12{,}46kNm$
$M_{z,Ed} = 1{,}01kNm$
$V_{y,Ed} = 0{,}92kN$
$V_{z,Ed} = 11{,}33kN$

I uzdužna sila: N_{Ed}=6,90kN (tlak) koja se na krovnu podrožnicu prenosi sa zabatnog stupa.

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

d=h-2t_f-2r=180-16-18=146 mm

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5} = 29{,}2$$

$$a = \frac{N_{ed}}{\frac{2 \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}} = \frac{6900}{\frac{2 \cdot 5 \cdot 355}{1}} = 1{,}94$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{146}\left(\frac{146}{2} + 1{,}94\right) = 0{,}51 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot 0{,}81}{13 \cdot 0{,}51 - 1} = 56{,}97$$

$29{,}2 \leq 56{,}97$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{91 - 5 - 18}{2} = 34\text{mm}$$

tf=8 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{34}{8} = 4{,}25$$

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

$4{,}25 \leq 7{,}29$

Pojasnica je klase 1.

Presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{23{,}9 \cdot 35{,}5}{1} = 848{,}45\ \text{kN}$$
$$N_{c,Rd} = 848{,}45\ \text{kN} > N_{ed} = 6{,}90\ kN$$

Savijanje oko osi y-y

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{166{,}4 * 35{,}5}{1} = 5907{,}2\ kNcm = 59{,}07\ kNm$$
$$M_{c,y,Rd} = 59{,}07\ kNm > M_{Ed} = 12{,}46\ kNm$$

Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,Rd} = M_{Pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{34{,}60 * 35{,}5}{1} = 1228{,}3\ kNcm = 12{,}28\ kNm$$
$$M_{c,z,Rd} = 12{,}28\ kNm > M_{Ed} = 0{,}99\ kNm$$

Posmična otpornost poprečnog presjeka

U smjeru osi z

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{180 - 16}{5} = 32{,}8$$
$$32{,}8 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 32{,}8 < 48{,}6$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{V,z} \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$
$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$A_{v,z} = 23{,}9 - 2 \cdot 9{,}1 \cdot 0{,}8 + (0{,}5 + 2 \cdot 0{,}9) \cdot 0{,}8 = 11{,}18\text{cm}^2 \geq 1{,}2 \cdot 16{,}4 \cdot 0{,}5 = 9{,}84\text{cm}^2$$
$$V_{pl,z,Rd} = \frac{11{,}18 \cdot (\frac{35{,}5}{\sqrt{3}})}{1}$$
$$V_{pl,z,Rd} = 229{,}14\ kN$$
$$V_{pl,z,Rd} = 229{,}14 \geq V_{Ed} = 11{,}33\ kN$$

U smjeru osi y

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{V,y} \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$
$$A_{v,y} = A - \sum h_w * t_w$$
$$A_{v,y} = 23{,}9 - \sum 16{,}4 * 0{,}5 = 15{,}7\ cm^2$$
$$V_{pl,y,Rd} = \frac{15{,}7 \cdot (\frac{35{,}5}{\sqrt{3}})}{1} = 321{,}79kN > V_{y,Ed} = 0{,}92kN$$

Interakcija My i Mz (dvoosno savijanje)

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

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} = \frac{6{,}90}{848{,}45} = 0{,}008 < 1 \rightarrow \beta = 1 \qquad \text{---} \qquad \alpha = 2; \beta = 1$$

Poprečna sila u smjeru osi z

Vz=11,33 kN

$0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 * 229{,}14 = 114{,}57kN$

$V_{z,Ed} = 11{,}33 < 0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 114{,}57kN$

→nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Poprečna sila u smjeru osi y

Vy=0.92 kN

$0{,}5 * V_{pl,y,Rd} = 0{,}5 * 321{,}79 = 160{,}89kN$

$V_{y,Ed} = 0{,}92 < 0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 160{,}89kN$

→nema redukcije otpornosti od poprečne sile

$(\frac{12{,}46}{59{,}07})^2 + (\frac{1{,}01}{12{,}28})^1 \leq 1{,}0 = 0{,}13 < 1$

Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

$\mathrm{N_{Ed}} \leq 0{,}25 \cdot \mathrm{N_{pl,Rd}}$

$6{,}90\ \mathrm{kN} \leq 0{,}25 \cdot 848{,}45 = 212{,}11\ \mathrm{kN}$

$$\mathrm{N_{Ed}} \leq \frac{0{,}5 \cdot \mathrm{h_w} \cdot \mathrm{t_w} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 16{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 35{,}5}{1} = 145{,}55$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Uzdužna tlačna otpornost

$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,o}}$ za presjeke klase 1,2,3

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

$\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{b}} = \frac{180}{91} = 1{,}97 > 1{,}2 \qquad \mathrm{t_f} = 8\ \mathrm{mm} < 40\ mm$

Za os y-y: krivulja izvijanja a →($\propto = 0{,}21$)

Za os z-z: krivulja izvijanja b →($\propto = 0{,}34$)

Izvijanje oko osi y

$L_{cr,y} = 440\ cm$

$$\mathrm{N_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot \mathrm{E} \cdot \mathrm{I_y}}{\mathrm{L_{cr,y}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1317}{440^2} = 1409{,}94\ \mathrm{kN}$$

$$\lambda_y \mathrm{cr} = \sqrt{\frac{\mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\mathrm{N_{cr}}}} = \sqrt{\frac{23{,}9 \cdot 35{,}5}{1409{,}94}} = 0{,}78$$

$\alpha = 0{,}21$

$\Phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(0{,}78 - 0{,}2) + 0{,}78^2] = 0{,}87$

$$\chi_y = \frac{1}{0{,}87 + \sqrt{0{,}87^2 - 0{,}78^2}} = 0{,}80$$

Izvijanje oko osi z

$L_{cr,z} = 440\ cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Iz}{{L_{cr}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 100,9}{440^2} = 108,02\ kN$$

$$\lambda_z cr = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{23,9 \cdot 35,5}{108,02}} = 2,80$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,34(2,80 - 0,2) + 2,80^2] = 4,86$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\chi_z = \frac{1}{4,86 + \sqrt{4,86^2 - 2,80^2}} = 0,11$$

Mjerodavna je manja vrijednost $\chi = 0,11$.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0,11 \cdot 23,9 \cdot 35,5}{1,0} = 93,33 > N_{ed} = 6,90\ kN$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 100,9}{440^2} \cdot \left[\sqrt{1^2 \cdot \frac{7,43}{100,9} + \frac{440^2 \cdot 8077 \cdot 4,79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 100,9} + (0,454 \cdot 9)^2} - 0,454 \cdot 9 \right] = 18,59\ kNm$$

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{18}{2} = 9\ cm$$

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

$k = 1,0 \qquad C_1 = 1,127$

$k_w = 1,0 \qquad C_2 = 0,454$

$L = 440\ cm$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166,4 \cdot 35,5}{1859,82}} = 1,78 > 0,4$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,78 - 0,2) + 1,78^2] = 2,25$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,25 + \sqrt{2,25^2 - 1,78^2}} = 0,28 < 1$$

Za krivulju izvijanja a → $\alpha = 0,21$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0,28 * \frac{166,4 * 35,5}{1} = 16,54 kNm$$

$$M_{b,Rd} = 16,54\ kNm > M_{y,Ed} = 12,46\ kNm$$

$$\eta = \frac{12,46}{16,54} = 0,753 = 75,33\%$$

Interakcija My i Mz

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M,1}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M,1}} \leq 1{,}0$$

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

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

$L_{cr,z} = 440cm$

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

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

$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow$ $\quad C_{my} = 0{,}95 + 0{,}05 * \alpha_h = 0{,}95$

$\psi = 0 \rightarrow$ $\quad C_{mz} = 0{,}95 + 0{,}05 * \alpha_h = 0{,}95$

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

$$k_{yy} = 0{,}95 \cdot \left[1 + (0{,}78 - 0{,}2) \cdot \frac{6{,}90}{0{,}80 \cdot 848{,}45/1}\right] \leq 0{,}95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{6{,}90}{0{,}80 \cdot 848{,}45/1}\right]$$

$k_{yy} = 0{,}96 \leq 0{,}96$

$k_{yy} = 0{,}96$

$$k_{zz} = 0{,}95 * \left[1 + (2 * 2{,}80 - 0{,}6) \cdot \frac{6{,}90}{0{,}11 * 848{,}45/1}\right] \leq 0{,}95 * \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{6{,}90}{0{,}11 \cdot 848{,}45/1}\right]$$

$k_{zz} = 1{,}30 \leq 1{,}05$

$k_{zz} = 1{,}05$

$k_{yz} = 0{,}6 * k_{zz} = 0{,}6 * 1{,}05 = 0{,}63$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0{,}1 \cdot 2{,}80}{0{,}95 - 0{,}25} \cdot \frac{6{,}90}{0{,}11 \cdot 848{,}45/1}\right] \geq \left[1 - \frac{0{,}1}{0{,}95 - 0{,}25} \cdot \frac{6{,}90}{0{,}11 \cdot 848{,}45/1}\right]$$

$k_{zy} = 0{,}97 \leq 0{,}99$

$k_{zy} = 0{,}99$

$$\frac{6{,}90}{0{,}80 \cdot 848{,}45/1} + 0{,}96 * \frac{12{,}46}{0{,}28 * 59{,}07/1} + 0{,}63 * \frac{1{,}01}{12{,}28} = 0{,}785 \leq 1{,}0$$

$$\frac{6{,}90}{0{,}11 \cdot 848{,}45/1} + 0{,}99 * \frac{12{,}46}{0{,}28 * 59{,}07/1} + 1{,}05 * \frac{1{,}01}{12{,}28} = 0{,}906 \leq 1{,}0$$

Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 90,55%.

5.2.5 BOČNA PODROŽNICA

Profil: IPE 160
Tip presjeka: valjani
Visina presjeka: h = 160 mm
Širina pojasnice: b = 82 mm
Debljina pojasnice: t_f = 7 mm
Debljina hrpta: t_w = 5 mm
Radijus: r =9 mm
Površina: A=20,10 cm^2

Momenti tromosti: I_y=869,30 cm^4
I_z=108,70 cm^4
Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 123,90 cm^3
$W_{pl,z}$ = 26,10 cm^3
Konstanta krivljenja: I_w = 3,96 cm^6
Torzijska konstanta: I_t = 3,60 cm^4

Djelovanje:
$M_{y,Ed} = 3{,}99kN$
$M_{z,Ed} = 0{,}51kN$
$V_{y,Ed} = 0{,}46kN$
$V_{z,Ed} = 3{,}63kN$
$N_{Ed}^{b.s.} = 13{,}92kN$
$N_{Ed}^{zab.} = 4{,}24kN$

Klasifikacija poprečnog presjeka
Hrbat
$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t_w}} = \frac{\mathrm{h} - 2 * \mathrm{t_f} - 2 * \mathrm{r}}{\mathrm{t_w}} = \frac{160 - 14 - 18}{5} = 25{,}6$$
$25{,}6 < 72\,\varepsilon = 25{,}6 < 58{,},32$
Hrbat je klase 1
Pojasnica
$$c = \frac{b - t_w - 2 * r}{2} = \frac{82 - 5 - 18}{2} = 29{,}5$$
$$\frac{c}{t_f} = \frac{29{,}5}{7} < 9\varepsilon = 4{,}21 < 7{,}29$$
Pojasnica je klase 1
Poprečni presjek je klase 1
Otponost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu
$$\mathrm{N_{c,Rd}} = \mathrm{N_{pl,Rd}} = \frac{\mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{20{,}10 \cdot 35{,}5}{1} = 713{,}55\mathrm{kN}$$
$$\mathrm{N_{c,Rd}} = 713{,}55\mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 13{,}92 + 4{,}24 = 18{,}16\ kN$$

Savijanje oko osi y-y
$$M_{c,Rd} = M_{Pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{123{,}9 * 35{,}5}{1} = 4398{,}45\ kNcm = 43{,}98\ kNm$$
$M_{c,y,Rd} = 43{,}98\ kNm > M_{Ed} = 3{,}99\ kNm$
Savijanje oko osi z-z
$$M_{c,Rd} = M_{Pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{26{,}10 * 35{,}5}{1} = 926{,}55\ kNcm = 9{,}27\ kNm$$
$M_{c,z,Rd} = 9{,}27kNm > M_{Ed} = 0{,}51\ kNm$
Posmična otpornost poprečnog presjeka
U smjeru osi z
$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 * t_f}{t_w} = \frac{160 - 14}{5} = 29{,}20$$
$$29{,}20 < 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 29{,}20 < 48{,}60$$

➔ Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{V,z} \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$
$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$
$$A_{v,z} = 20{,}10 - 2 \cdot 8{,}2 \cdot 0{,}7 + (0{,}5 + 2 \cdot 0{,}9) \cdot 0{,}7 = 10{,}23 cm^2 \geq 1{,}2 \cdot 14{,}6 \cdot 0{,}5 = 8{,}76 cm^2$$
$$V_{pl,z,Rd} = \frac{8{,}76 \cdot (\frac{35{,}5}{\sqrt{3}})}{1}$$
$$V_{pl,z,Rd} = 179{,}54\ kN$$
$$V_{pl,z,Rd} = 179{,}54 \geq V_{Ed} = 3{,}63\ kN$$

U smjeru osi y

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{V,y} \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M,0}}$$
$$A_{v,y} = A - \sum h_w * t_w$$
$$A_{v,y} = 20{,}10 - \sum 14{,}6 * 0{,}5 = 12{,}80\ cm^2$$
$$V_{pl,y,Rd} = \frac{12{,}80 \cdot (\frac{35{,}5}{\sqrt{3}})}{1} = 262{,}35 kN > V_{y,Ed} = 0{,}46 kN$$

Interakcija My i Mz (dvoosno savijanje)

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

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Pl,Rd}} = \frac{18{,}16}{713{,}55} = 0{,}03 < 1 \rightarrow \beta = 1$$

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

Poprečna sila u smjeru osi z

Vz=3,63 kN

$0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 * 179{,}54 = 89{,}77 kN$

$V_{z,Ed} = 3{,}63 < 0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 89{,}77 kN$

→nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Poprečna sila u smjeru osi y

Vy=0.46 kN

$0{,}5 * V_{pl,y,Rd} = 0{,}5 * 262{,}35 = 131{,}18\ kN$

$V_{y,Ed} = 0{,}46 < 0{,}5 * V_{pl,z,Rd} = 131{,}18 kN$

→nema redukcije otpornosti od poprečne sile

$(\frac{3{,}99}{43{,}98})^2 + (\frac{0{,}51}{9{,}27})^1 \leq 1{,}0 = 0{,}06 < 1$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$
$$18{,}16 kN \leq 0{,}25 \cdot 713{,}55 = 178{,}39\ kN$$

$$N_{Ed} = 18{,}16\ \text{kN} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 14{,}6 \cdot 0{,}5 \cdot 35{,}5}{1} = 129{,}58\ \text{kN}$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Uzdužna tlačna otpornost

$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,o}}$ za presjeke klase 1,2,3

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

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1{,}95 > 1{,}2 \qquad t_f = 7\ \text{mm} < 40\ mm$$

Za os y-y: krivulja izvijanja a → ($\propto = 0{,}21$)
Za os z-z: krivulja izvijanja b → ($\propto = 0{,}34$)

Izvijanje oko osi y

$L_{cr,y} = 440\ cm$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}{}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 869{,}30}{440^2} = 930{,}64\ \text{kN}$$

$$\lambda_y cr = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20{,}10 \cdot 35{,}5}{930{,}64}} = 0{,}88$$

$\alpha = 0{,}21$

$$\Phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(0{,}88 - 0{,}2) + 0{,}88^2] = 0{,}96$$

$$\chi_y = \frac{1}{0{,}96 + \sqrt{0{,}96^2 - 0{,}88^2}} = 0{,}74$$

Izvijanje oko osi z

$L_{cr,z} = 440\ cm$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Iz}{L_{cr}{}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 108{,}7}{440^2} = 116{,}37\ \text{kN}$$

$$\lambda_z cr = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20{,}10 \cdot 35{,}5}{116{,}37}} = 2{,}48$$

$$\Phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(2{,}48 - 0{,}2) + 2{,}48^2] = 3{,}96$$

$\alpha = 0{,}34$

$$\chi_z = \frac{1}{3{,}96 + \sqrt{3{,}96^2 - 2{,}48^2}} = 0{,}14$$

Mjerodavna je manja vrijednost $\chi = 0{,}14$.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0{,}14 \cdot 20{,}10 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 99{,}89\text{kN} > N_{ed} = 18{,}16\ \text{kN}$$

Otpornost elementa na savijanje

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

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 108{,}7}{440^2} \cdot \left[\sqrt{1^2 \cdot \frac{3{,}96}{108{,}7} + \frac{440^2 \cdot 8077 \cdot 3{,}60}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 108{,}7} + (0{,}454 \cdot 8)^2} - 0{,}454 \cdot 8 \right] = 16{,}51 \text{ kNm}$$

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ cm}$
$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21000}{2(1+0{,}3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
$k = 1{,}0 \qquad C_1 = 1{,}127$
$k_w = 1{,}0 \qquad C_2 = 0{,}454$
$L = 440\ cm$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{123{,}9 \cdot 35{,}5}{1650{,}94}} = 1{,}63 > 0{,}4$$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\, 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}^{\,2} \,] = 0{,}5 \cdot [\, 1 + 0{,}21 \cdot (1{,}63 - 0{,}2) + 1{,}63^2 \,] = 1{,}98$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^{\,2} - \bar{\lambda}_{LT}^{\,2}}} = \frac{1}{1{,}98 + \sqrt{1{,}98^2 - 1{,}63^2}} = 0{,}32 < 1$$

Za krivulju izvijanja a → $\alpha = 0{,}21$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M,1}}$$

$$M_{b,Rd} = 0{,}32 * \frac{123{,}9 * 35{,}5}{1} = 14{,}08\ kNm$$

$$M_{b,Rd} = 14{,}08 kNm > M_{y,Ed} = 3{,}66\ kNm$$

$$\eta = \frac{3{,}66}{14{,}08} = 0{,}26 = 25{,}99\ \%$$

Interakcija My i Mz

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M,1}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}/\gamma_{M,1}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M,1}} \leq 1{,}0$$

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

$k_{yz} = 0{,}6 * k_{zz}$
$L_{cr,z} = 440cm$

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

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

$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \rightarrow$ $\quad C_{my} = 0{,}95 + 0{,}05 * \alpha_h = 0{,}95$

$\psi = 0 \rightarrow$ $\quad C_{mz} = 0{,}95 + 0{,}05 * \alpha_h = 0{,}95$

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

$$k_{yy} = 0{,}95 \cdot \left[1 + (0{,}88 - 0{,}2) \cdot \frac{18{,}16}{0{,}74 \cdot 713{,}55/1}\right] \leq 0{,}95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{18{,}16}{0{,}74 \cdot 713{,}55/1}\right]$$

$k_{yy} = 0{,}97 < 0{,}98$

$k_{yy} = 0{,}98$

$$k_{zz} = 0{,}95 * \left[1 + (2 * 2{,}48 - 0{,}6) \cdot \frac{18{,}16}{0{,}14 * 713{,}55/1}\right] \leq 0{,}95 * \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{18{,}16}{0{,}14 \cdot 713{,}55/1}\right]$$

$k_{zz} = 0{,}90 \geq 1{,}19$

$k_{zz} = 0{,}90$

$k_{yz} = 0{,}6 * k_{zz} = 0{,}6 * 0{,}90 = 0{,}54$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0{,}1 \cdot 2{,}48}{0{,}95 - 0{,}25} \cdot \frac{18{,}16}{0{,}14 \cdot 713{,}55/1}\right] \geq \left[1 - \frac{0{,}1}{0{,}95 - 0{,}25} \cdot \frac{18{,}16}{0{,}14 \cdot 713{,}55/1}\right]$$

$k_{zy} = 0{,}94 \leq 0{,}97$

$k_{zy} = 0{,}94$

$$\frac{18{,}16}{0{,}74 \cdot 713{,}55/1} + 0{,}98 * \frac{3{,}99}{0{,}32 * 43{,}98/1} + 0{,}54 * \frac{0{,}51}{9{,}27} = 0{,}34 \leq 1{,}0$$

$$\frac{18{,}16}{0{,}14 \cdot 713{,}55/1} + 0{,}94 * \frac{3{,}99}{0{,}32 * 43{,}98/1} + 0{,}90 * \frac{0{,}51}{9{,}27} = 0{,}49 \leq 1{,}0$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 49,78%.

6. DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

6.1 SPOJ STUP-TEMELJ

Ulazni podaci:
$N_{Ed} = 95{,}15\ kN$(tlak)
$M_{y,Ed} = 19{,}18\ kNm$
$V_{z,Ed} = 4{,}36\ kN$

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 5.6
Poprečni presjek:
Profil: HEA 180

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: h = 171 mm

Širina pojasnice: b = 180 mm

Debljina pojasnice: t_f = 10 mm

Debljina hrpta: t_w = 6 mm

Pojasnice
Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N^*{}_P{}^M = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{19{,}18}{0{,}171 - 0{,}01} = 120{,}99\ kN$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_P{}^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{18 \cdot 1}{45{,}30} \cdot (95{,}15) = -37{,}81\ kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N^*{}_P{}^M + N_P{}^N = -120{,}99 - 37{,}81 = -158{,}8\ \text{kN} = F_{w,Ed}$$

Kontrola varova

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu
Dužina vara pojasnice

$$l \approx 2 \cdot 180 = 360\ \text{mm}$$

Dužina vara hrpta

$$l_1 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (171 - 2 \cdot 10) = 302\ mm$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{max} = 0{,}7 \cdot t_{min} = 0{,}7 \cdot 6 = 4{,}20\ \text{mm}$$

Za pretpostavljeni var a=4 mm
Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1{,}25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{130{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{360}{100} = 376{,}99\ \text{kN} > F_{w,Ed} = 158{,}8\ \text{kN}$$

Poprečna sila:

$$\mathrm{F_{w,Rd}} = \frac{\mathrm{F_{w,Rk}}}{1{,}25} \cdot \frac{\mathrm{L}}{100} = \frac{130{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{302}{100} = 316{,}25\ \mathrm{kN} > \mathrm{V_{Ed}} = 4{,}36\ \mathrm{kN}$$

Proračun vijaka

Odabrani vijak: M 16 ; k.v. 5.6
Uz pretpostavku vijaka M16 udaljenost c_{min} vijaka od ruba pojasnice iznosi:

c_{min} =(2·d)+(a· $\sqrt{2}$)=(2·16)+(4· $\sqrt{2}$)=37,66mm
Usvojeni c=40mm

Ekscentricitet uzdužne sile:
$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{19{,}18}{95{,}15}$=0,202m

Ekscentricitet
$x_1 = c + h + \frac{t_f}{2} = 40 + 171 - \frac{10}{2}$=206mm=0,206m
Ekscentricitet
$x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 202 - \frac{171}{2} + \frac{10}{2}$=121,5mm=0,122m

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Sd} \cdot x_1 \rightarrow F_{t,Sd} = \frac{x_2}{x_1} \cdot N_{Ed} = \frac{0{,}122}{0{,}206} \cdot 95{,}15 = 56{,}35\ kN$$

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{70{,}7}{1{,}25} = 56{,}56kN > \frac{F_{t,Sd}}{2} = \frac{56{,}35}{2} = 28{,}18kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijka.

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = \frac{47{,}1}{1{,}25} = 37{,}68\ kN > F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = \frac{4{,}36}{4} = 1{,}09kN$$

(svaki vijak prenosi 1,09kN)

Interakciha uzdužne sile i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{v,sd}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,sd}}{1{,}4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1{,}0 \rightarrow \frac{1{,}09}{37{,}68} + \frac{28{,}18}{1{,}4 \cdot 56{,}56} = 0{,}38 \leq 1{,}0$$

Iskoristivost vijaka je 38%.

Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 171 + 2 \cdot (40 + 40) = 331\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a \cdot \sqrt{2} + 20mm = 180 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 = 211{,}31\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 55 + 2 \cdot 25 = 105\ mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 350x250 mm

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{4} = \frac{4{,}36}{4} = 1{,}09\ kN = F_{b,Sd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} = \frac{151{,}1}{1{,}25} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{1{,}09 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{151{,}1} = 0{,}09mm$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge
S=(350-171+10)/2=94,5mm=9,45cm
R=$F_{t,Sd} + N_{Ed}$=56,35+95,15=151,5 kN

Naprezanje na betonu C(25/30):

$$f_{B,Sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{151{,}5}{\frac{3 \cdot 9{,}45 \cdot 25}{2}} = 0{,}43\ kN/cm^2 \leq \frac{f_{ck}}{1{,}5} = \frac{2{,}5}{1{,}5} = 1{,}66\ kN/cm^2$$

Savijanje ploče:

$M_{Sd} = F1 \cdot \frac{s}{2} + F2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s =$

$\frac{2}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} s = \frac{2}{3} \cdot 4300 \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{0{,}09}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 4300 \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}25}{2} \cdot \frac{2}{3}$0,09=3,81kNm

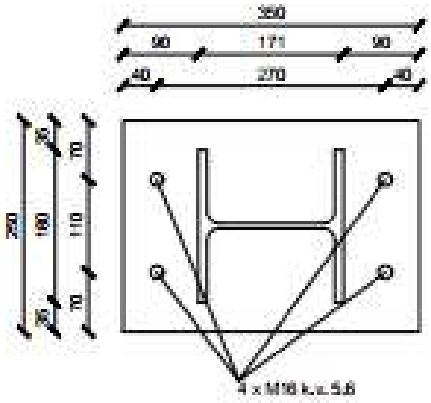
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

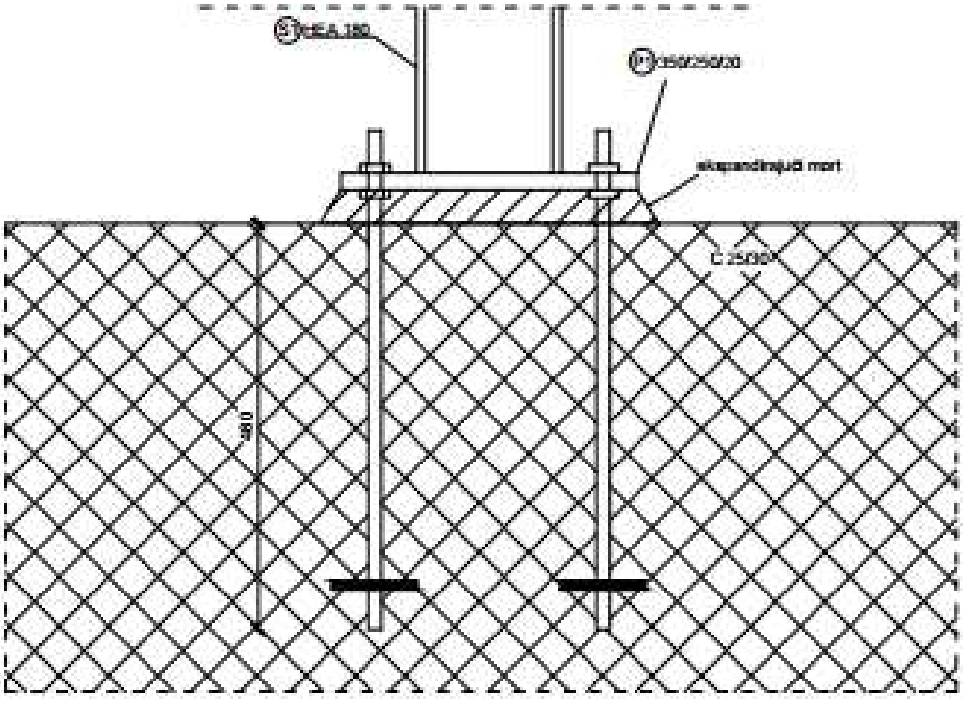
$M_{Sd} = F_{t,sd} \cdot (c + \frac{t_f}{2})$=56,35·0,045=2,54kNm

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1{,}1} \rightarrow W_{min} = \frac{1{,}1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\ min}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 381 \cdot 6}{35{,}5 \cdot 25}} = 1{,}68cm$$

Debljina ploče ne smije biti manja od 10 mm, a u našem slučaju je računski dobiveno da debljina ploče mora biti veća ili jednaka od 1,68cm=16,8mm. Iz tog razloga mi odabiremo za debljinu ploče d=20 mm.

Usvojene dimenzije ploče su 350x250x200 mm





Slika 54 Spoj stup-temelj

6.2 SPOJ STUP-REŠETKA

$V_{Ed} = 4{,}35$ kN
$N_{Ed} = 4{,}35$ kN (tlak)

STUP HEA 180 $Profil: CFHRS\ 140x140x5$
$h = 171$ mm
$b = 180$ mm
$t_w = 6$ mm
$t_f = 10$ mm
$r = 15$ mm

Kontrola varova

Kontrola varova:

$$F_{w,Ed} = (V_{Ed}^2 + N_{Ed}^2)^{0,5} = (4{,}35^2 + 4{,}35^2)^{0,5} = 6{,}15\ kN$$

Dužina vara:

l=2$\cdot\ b + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f)$ =2$\cdot\ 180 + 2 \cdot (171 - 2 \cdot 10)$=662mm

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

a_{max}=0,7$\cdot\ t_{min} = 0{,}7 \cdot 6 = 4{,}2mm$

Za pretpostavljeni var a=4,0mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{130{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{662}{100} = 693{,}25\ kN > F_{w,Ed} = 6{,}15kN$$

Proračun vijaka

Odabrani vijak: M 12 ; k.v. 5.6

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 4\sqrt{2} = 29{,}66mm$$

Odabrano c=40mm

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{V,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{25{,}35}{1{,}25} = 20{,}24\ kN > F_{V,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{4{,}35}{2} = 2{,}175\ kN$$

Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{min} = h + 2a \cdot \sqrt{2} + 20mm = 171 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 = 202{,}31\ mm$$

$$b_{pl}^{mi} = b + 2 \cdot (c + e_1) = 180 + 2 \cdot (40 + 30) = 320\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 40 + 2 \cdot 25 = 90\ mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 220x320mm

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{4{,}35}{2} = 2{,}175\ kN = F_{b,Sd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} = \frac{117{,}7}{1{,}25} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{1{,}09 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{117{,}7} = 0{,}12\ mm$$

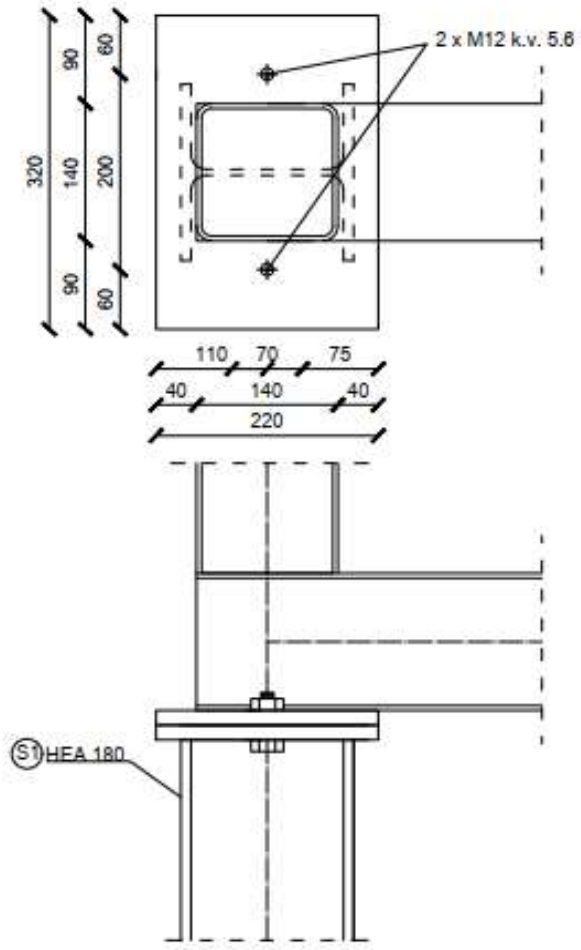
Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$M_{Sd} = F_{t,sd} \cdot c$=56,35·0,040=2,25kNm

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min \cdot f_y}}{1{,}1} \rightarrow W_{min} = \frac{1{,}1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\ min}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 225 \cdot 6}{35{,}5 \cdot 25}}$$

$$= 1{,}29cm$$

Usvojene dimenzije ploče su 220x320x15 mm.



Slika 55 Spoj stup-rešetka

6.3 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

$N_{Ed} = 366{,}14\ kN$

Profil- CFHRS 140x140x5

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara

a_{max}=0,7· t_{min}=0,7·5=3,5mm

Za pretpostavljeni var a=3,0 mm

Otpornost vara:

L_w=0=2·h+2· b=0=2· 140+2· 140=560mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{98{,}1}{1{,}25} \cdot \frac{560}{100} = 439{,}49\ kN > N_{Ed} = 366{,}14kN$$

Proračun vijaka

Pretpostavka M22 k.v. 5.6.

N=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{136{,}4}{1{,}25} = 109{,}12kN > F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{366{,}14}{4} = 91{,}54kN$$

60,58/88,24= 0,686

Proračun dimenzija ploče

Proračun širine i dužine ploče

$$c = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 3 \cdot \sqrt{2} = 48{,}24\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = b + 2a \cdot \sqrt{2} + 20mm = 140 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 168{,}49\ mm$$

$$b_{pl}^{min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 75 + 2 \cdot 45 = 165mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 300x300mm.

Proračun minimalne debljine ploče:

e=50mm

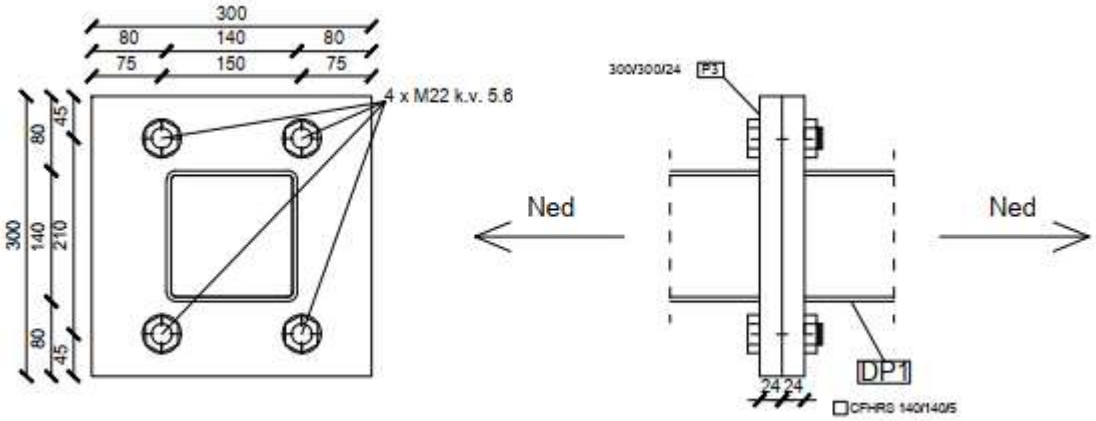
b_{pl}=300mm

$M_{Sd} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e$=2· 91,54·0,050=9,15 kNm

$$M_{Sd} \leq \frac{W_{min \cdot f_y}}{1{,}1} \rightarrow W_{min} = \frac{1{,}1 \cdot M_{Sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\ min}}{6} \rightarrow t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot M_{Sd} \cdot 6}{f_y \cdot b_{pl}}} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 915 \cdot 6}{35{,}5 \cdot 30}}$$

$$= 2{,}38cm$$

Usvojene dimenzije ploče su 300x300x24mm.



Slika 56 Vlačni nastavak rešetke

7. PRORAČUN TEMELJA

ODABRANE DIMENZIJE TEMELJA:

L=2,0 m

B=2,0 m

H=1,0 m

ULAZNI PODACI:

Djelovanje:

- moment savijanja M_{Ed}=16,08 kNm
- poprečna sila V_{Ed}=7,84 kN
- uzdužna sila N_{Ed}=54,33 kN (tlak)

Osnovni podaci o temelju

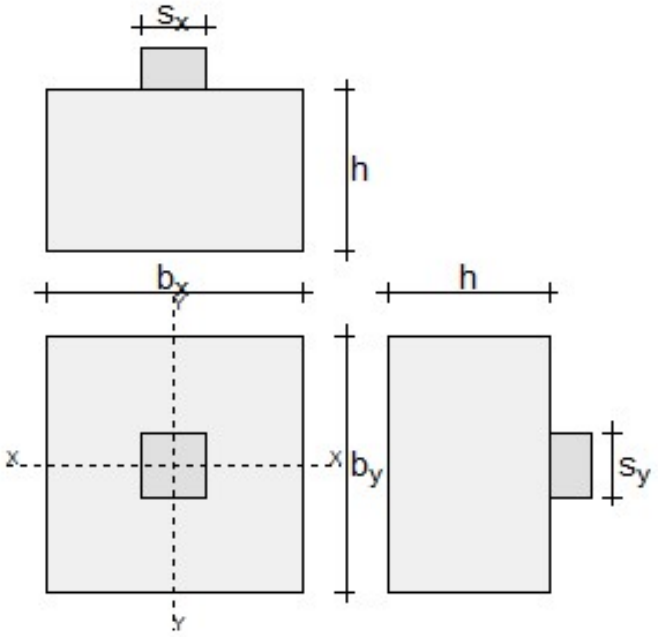
N = -54,33 kN (tlak)
T_y = 7,84 kN
M_y = 16,08 kN

C 12/16
f_{ck} = 1,20 kN/cm^2
τ_{rd} = 0,018 kN/cm^2

MA 500/560
f_{yk} = 50 kN/cm^2

γ_c = 1,50, γ_s = 1,15

$\sigma_{tla,\ dop.}$ = 400,00 kN/m^2



b_x = 80,0 cm
b_y = 80,0 cm
h = 50,0 cm
s_x = 20,0 cm
s_y = 20,0 cm
L_x = 0,0 cm
L_y = 0,0 cm

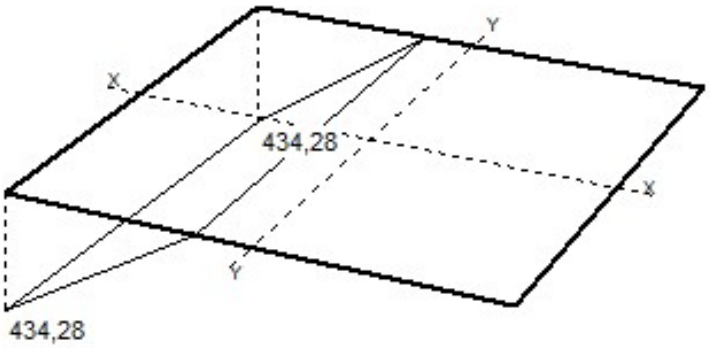
Proračun temelja

$A = 0,64\ m^2$
$W_x = 0,09\ m^3$
$W_y = 0,09\ m^3$

$e_x = -29,60\ cm$
$e_y = 0,00\ cm$

$\sigma_2 = 434,28\ kN/m^2$
$\sigma_3 = 434,28\ kN/m^2$

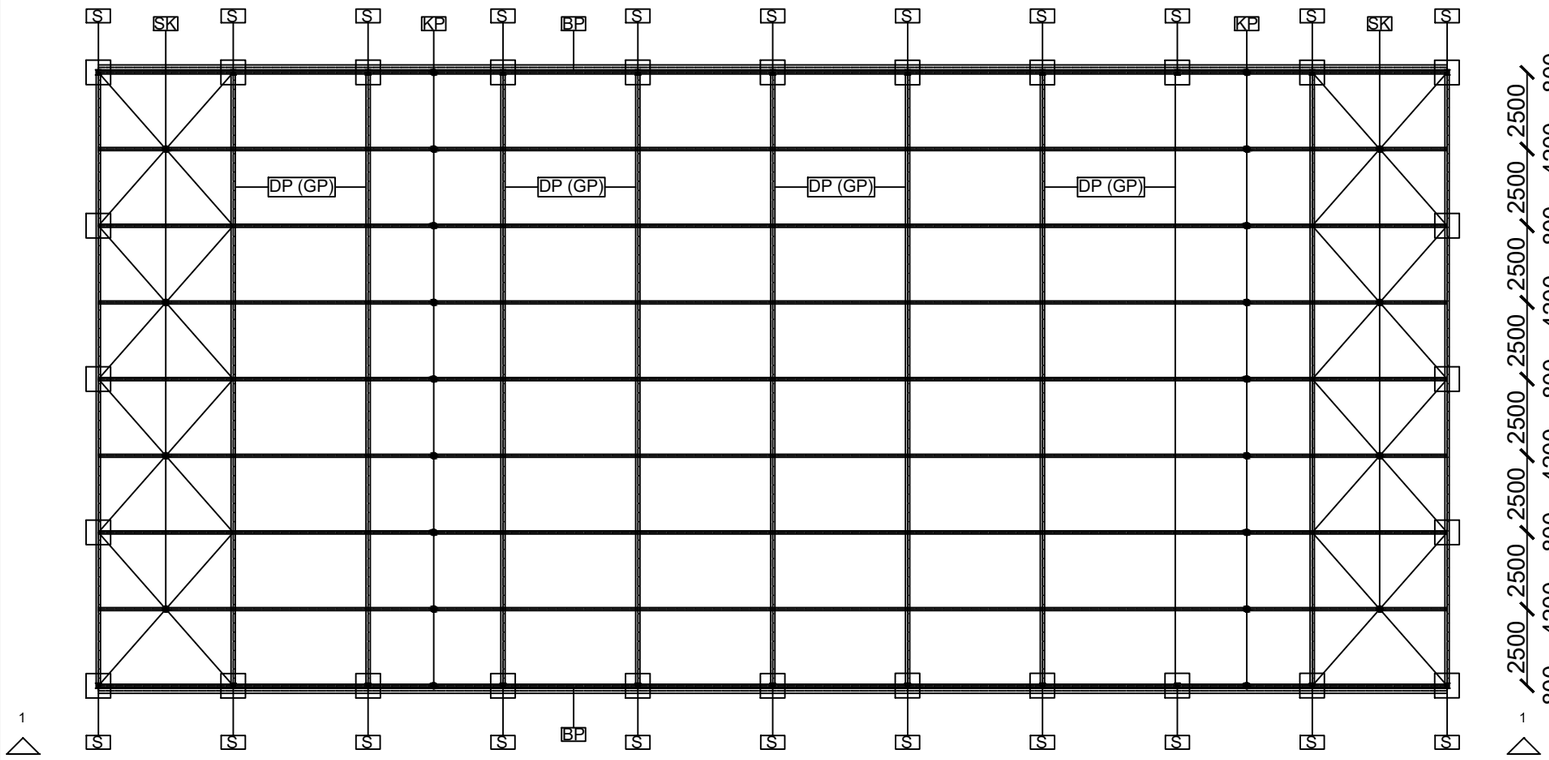
$A_{a,x} = 0,91\ cm^2$
$A_{a,y} = 0,38\ cm^2$



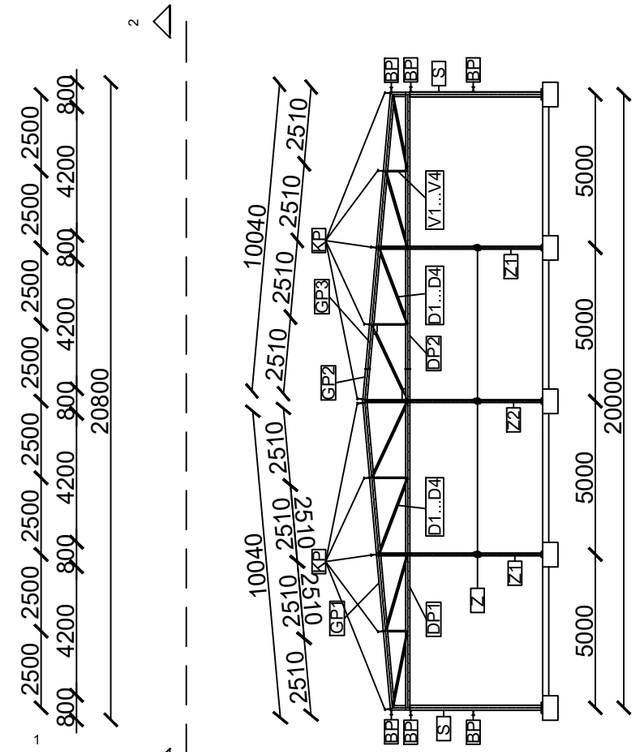
8. NACRTI

8.1 GENERALNI PLAN POZICIJA M 1:200

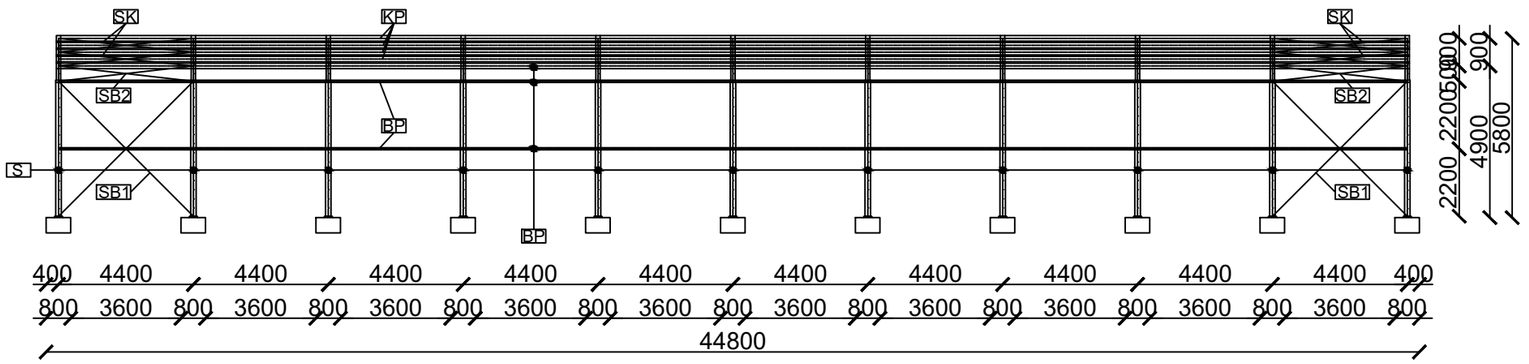
TLOCRTNI POGLED



BOČNI POGLED (2-2)



UZDUŽNI POGLED (1-1)



PRIKAZ I OPIS POZICIJA		
POZICIJA	PROFIL	NAZIV
STUP (S)	HEA 180	Stup glavne konstrukcije
DONJI POJAS (DP)	140/140/5	Donji pojas krovne rešetke
GORNJI POJAS (GP)	140/140/5	Gornji pojas krovne rešetke
VERTIKALE (V)	30x30x3	Vertikalne ispune krovne rešetke
DIJAGONALE (D)	60x60x4	Dijagonalne ispune krovne rešetke
KROVNA PODR. (KP)	IPE 180	Sekundarna krovna konstrukcija
BOČNA PODR. (BP)	IPE 160	Sekundarna bočna konstrukcija
ZABAT (Z)	HE 100	Sekundarna konstrukcija na zabtu hale
KROVNI SPREG (SK)	RD 14	Krovna dijagonala vjetrovnog sprega
BOČNI SPREG (SB)	RD 14	Bočna dijagonala vjetrovnog sprega

SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Barbara Živković

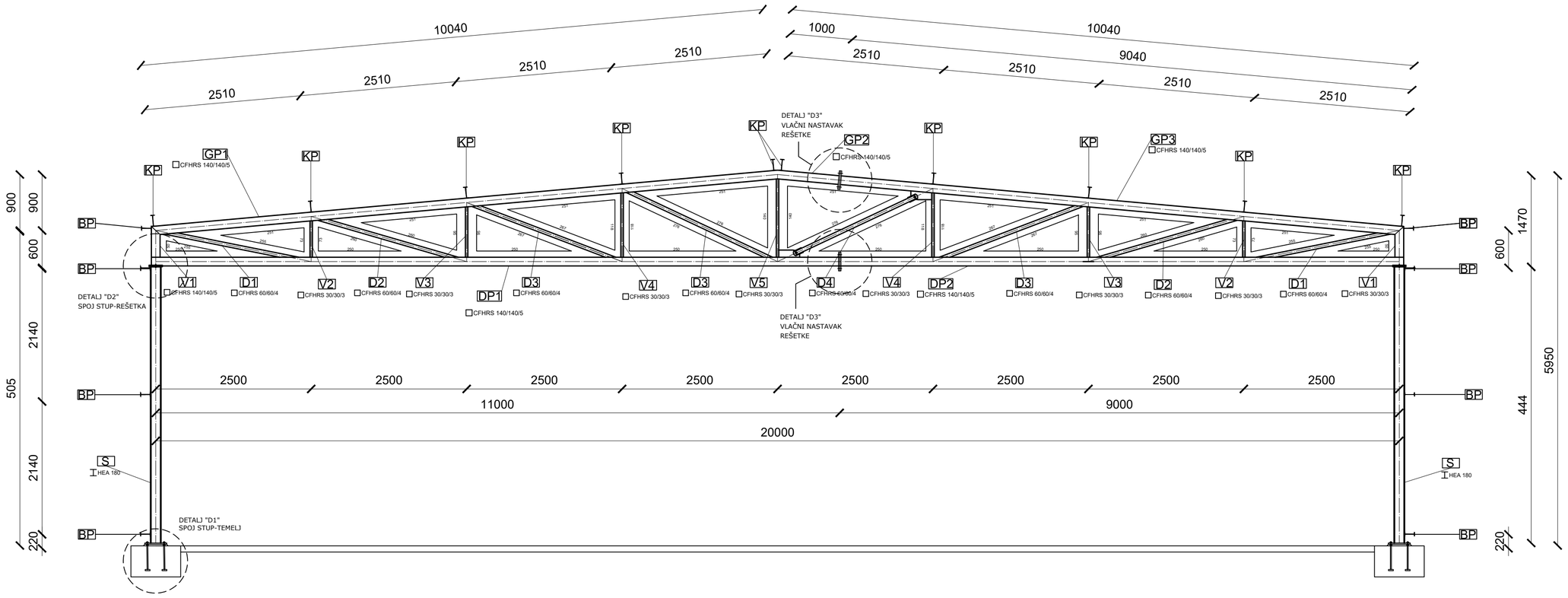
SADRŽAJ: Generalni plan pozicija

MJERILO: 1:200

DATUM: rujan 2020.

BROJ PRILOGA: 1

8.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR M 1:50

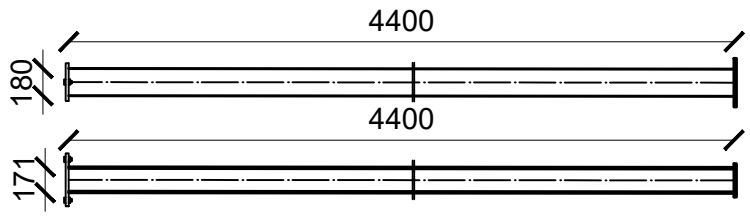


SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	
TEMA	Osnove metalnih konstrukcija
	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Barbara Živković
SADRŽAJ	Presjek kroz glavni okvir
MJERILO	1:50
BROJ PRILOGA	2
DATUM	rujan 2020.

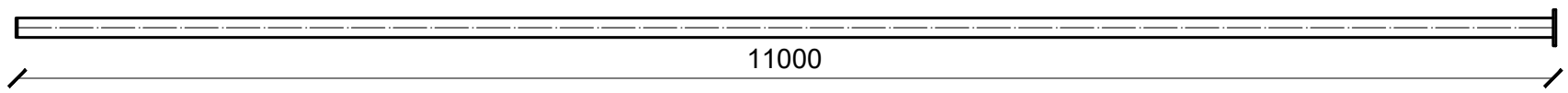
8.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

M 1:50

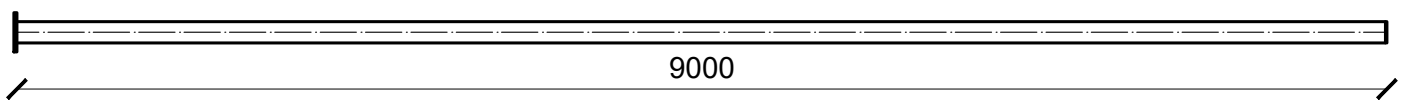
STUP (S) HEA 180, l=4400mm



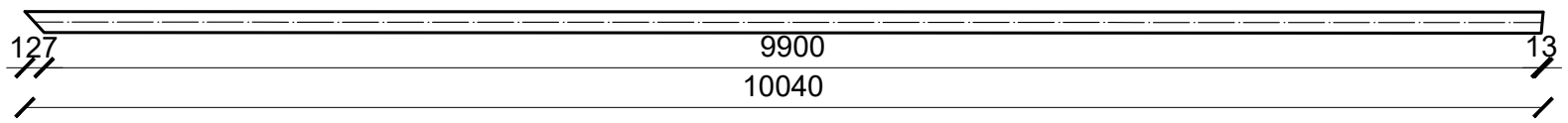
DONJI POJAS (DP1) CFHRS 140/140/5, l=11000mm



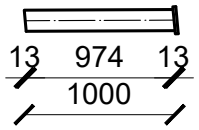
DONJI POJAS (DP2) CFHRS 140/140/5, l=9000mm



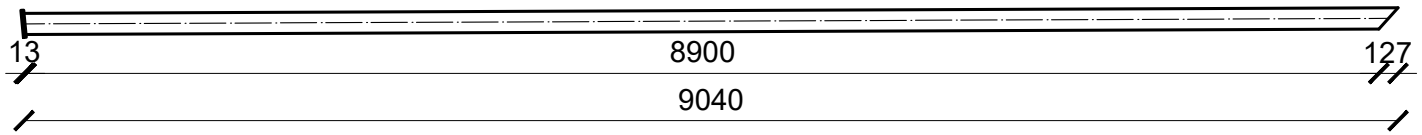
GORNJI POJAS (GP1) CFHRS 140/140/5, l=10040mm



GORNJI POJAS (GP2)
CFHRS 140/140/5, l=1000mm



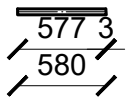
GORNJI POJAS (GP3) CFHRS 140/140/5, l=9040mm



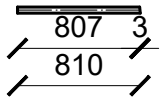
VERTIKALA (V1)
CFHRS 140/140/5, l=430mm



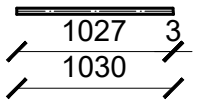
VERTIKALA (V2)
CFHRS 40/40/4, l=580mm



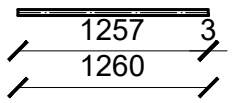
VERTIKALA (V3)
CFHRS40/40/4, l=810mm



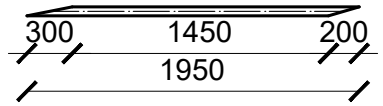
VERTIKALA (V4)
CFHRS 40/40/4, l=1030mm



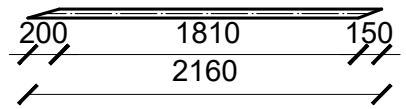
VERTIKALA (V5)
CFHRS 40/40/4, l=1260mm



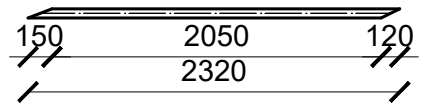
DIJAGONALA (D1) CFHRS 60/60/4, l=1950mm



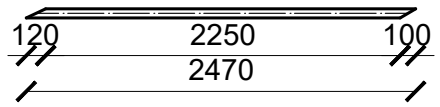
DIJAGONALA (D2) CFHRS 60/60/4, l=2160mm



DIJAGONALA (D3) CFHRS 60/60/4, l=2320mm



DIJAGONALA (D4) CFHRS 60/60/4, l=2470mm



SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Barbara Živković

SADRŽAJ: Radionički nacrt glavnog nosača

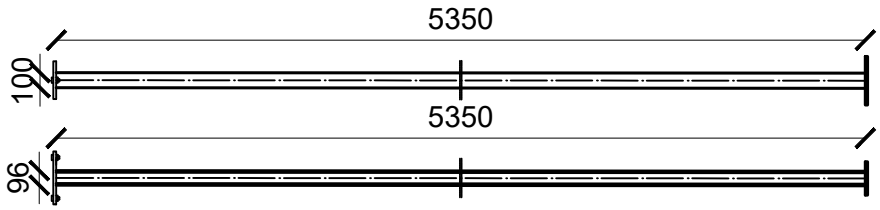
MJERILO: 1:50

BROJ PRILOGA: 3

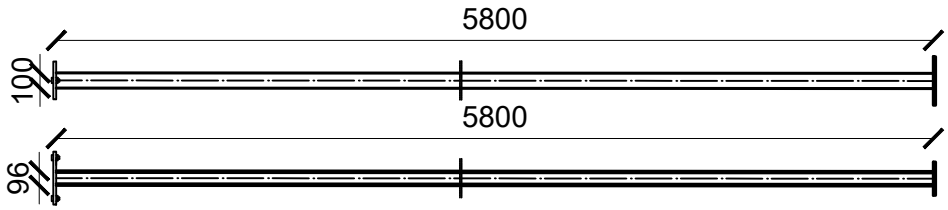
DATUM: rujan 2020.

8.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA
M 1:50

ZABATNI STUP (Z1) HE 100, l=5350mm, kom=2

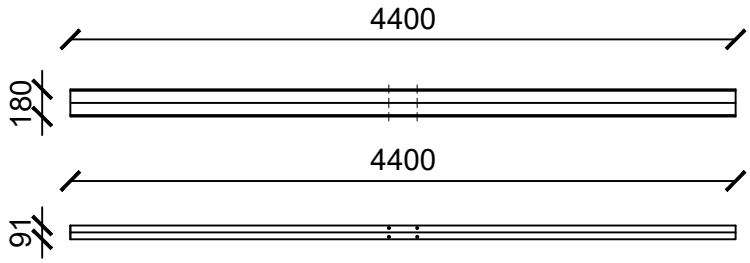


ZABATNI STUP (Z2) HE 100, l=5800mm, kom=1



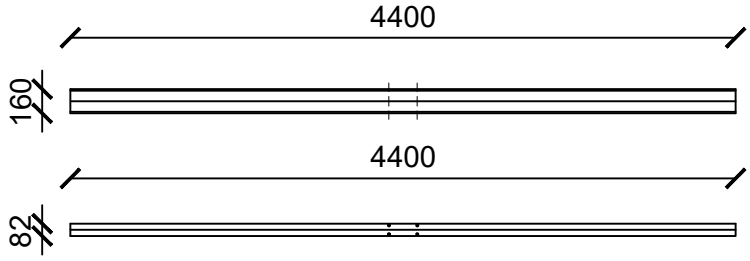
KROVNA SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

PODROŽNICA (KP) I IPE 180, l=4400 mm, kom=100



BOČNA SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

PODROŽNICA (BP) I IPE 160, l=4400 mm, kom=60



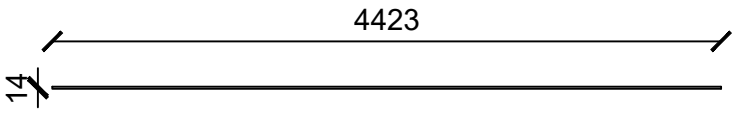
SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Barbara Živković
SADRŽAJ	Radionički nacrt sekundarnog nosača
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	4
DATUM	rujan 2020.

8.5 RADIONIČKI NACRT SPREGOVA
M 1:50

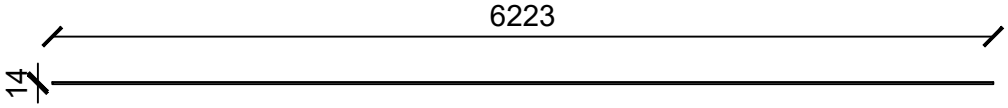
KROVNI SPREGOVI

KROVNI SPREG (SK) ○Ø14, l=4423 mm, kom=16

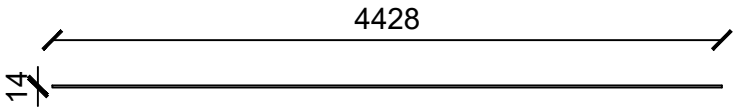


BOČNI SPREGOVI

BOČNI SPREG (SB1) ○Ø14, l=6223 mm, kom=8



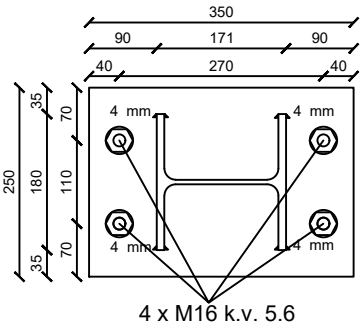
BOČNI SPREG (SB2) ○Ø14, l=4428 mm, kom=8

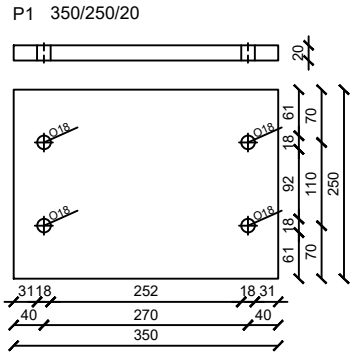


SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

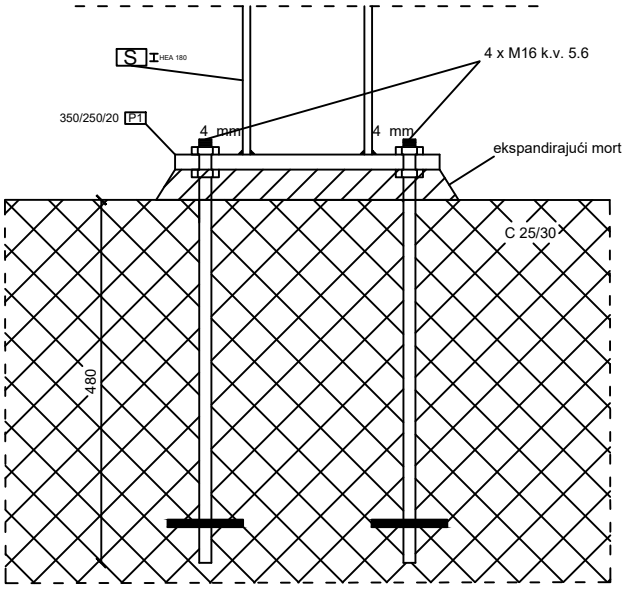
	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Barbara Živković
SADRŽAJ	Spregovi
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	5
DATUM	rujan 2020.

8.6 DETALJ "D1" SPOJA STUP-TEMELJ
M 1:10

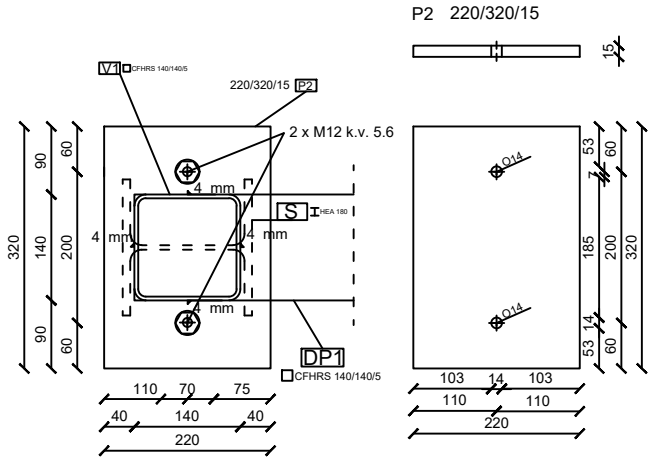


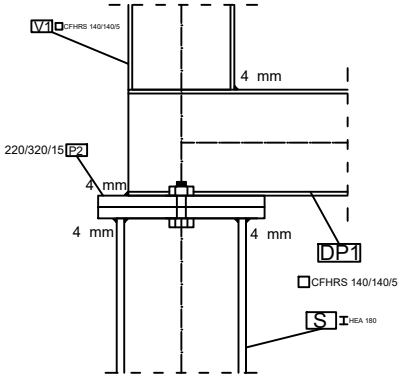


4 x M16 k.v. 5.6
svi varovi a = 4 mm
kvaliteta čelika S355



8.7 DETALJ "D2" SPOJ STUP-REŠETKA
M 1:10



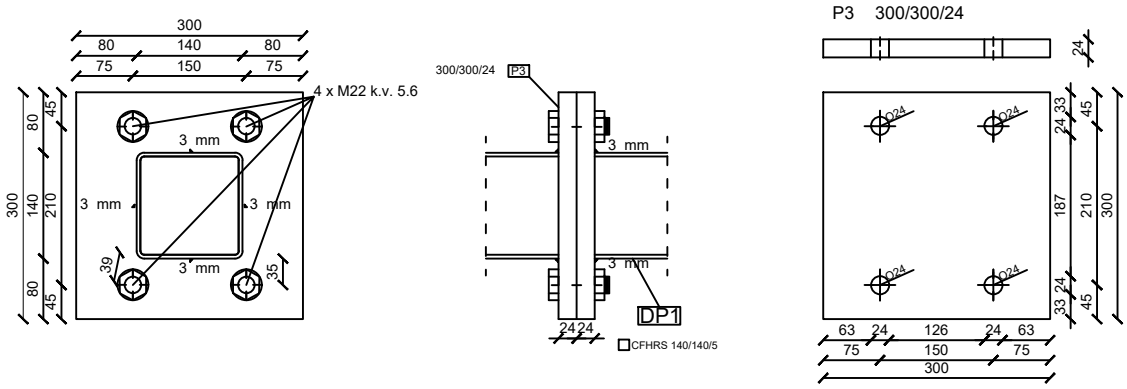


SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Barbara Živković
SADRŽAJ	Detalji spojeva
MJERILO	1:10
BROJ PRILOGA	6
DATUM	rujan 2020.

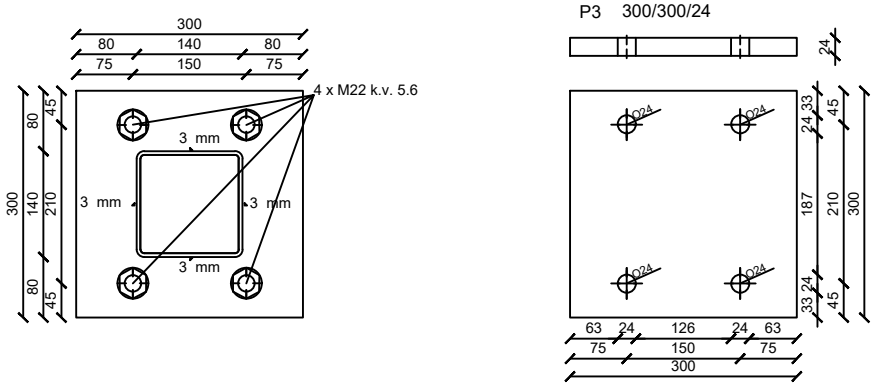
8.8 DETALJ "D3" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE
M 1:10

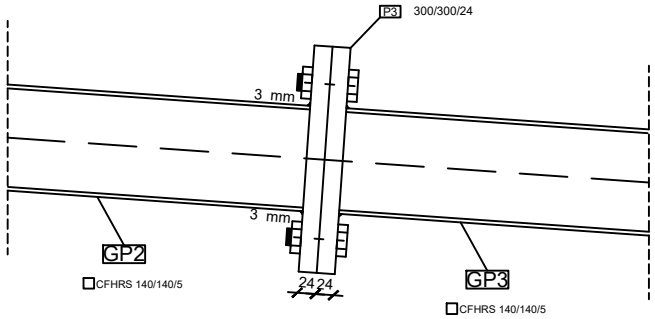
NASTAVAK DONJEG POJASA



DETALJ "D3" SPOJ STUP-REŠETKA
M 1:10

NASTAVAK GORNJEG POJASA





SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Barbara Živković	
	SADRŽAJ: Detalji spojeva	MJERILO: 1:10
	DATUM: rujan 2020.	BROJ PRILOGA: 7

9.ISKAZ MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU						
Element	Pop. presjek	Površina (mm2)	Duljina (mm)	Masa (kg/m')	Broj komada	Masa (kg)
S	HEA 180	4530	4400	35,56	22	3442,21
DP1	140/140/5	2636	11000	20,69	11	2503,49
DP2	140/140/5	2636	9000	20,69	11	2048,31
GP1	140/140/5	2636	10040	20,69	11	2285,00
GP2	140/140/5	2636	1000	20,69	11	227,59
GP3	140/140/5	2636	9040	20,69	11	2057,41
V1	140/140/5	2636	430	20,69	22	195,73
V2	40x40x4	535	580	4,19	22	53,46
V3	40x40x4	535	810	4,19	22	74,67
V4	40x40x4	535	1030	4,19	22	94,95
V5	40x40x4	535	1260	4,19	11	58,07
D1	60x60x4	855	1950	6,71	22	287,86
D2	60x60x4	855	2160	6,71	22	318,86
D3	60x60x4	855	2320	6,71	22	342,48
D4	60x60x4	855	2470	6,71	22	364,62
V2	40x40x4	535	580	4,19	22	53,46
V3	40x40x4	535	810	4,19	22	74,67
V4	40x40x4	535	1030	4,19	22	94,95
V5	40x40x4	535	1260	4,19	11	58,07
Z1	HE 100	2120	5350	16,64	2	178,05
Z2	HE 100	2120	5800	16,64	1	96,51
SK	RD 14	154	4423	1,21	16	85,63
SB1	RD 14	154	6223	1,21	8	60,24
SB2	RD 14	154	4428	1,21	8	42,86
KP	IPE 180	2390	4400	18,76	22	1815,97
BP	IPE 160	2010	4400	15,78	22	1527,50
					∑ =	18161,47
Spoj.sred.						(363,23) +2%
					∑ =	18524,69

Masa (kg/m2)
17,45

SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Barbara Živković

SADRŽAJ: Predmjer materijala

MJERILO:

BROJ PRILOGA: 8

DATUM: rujan 2020.