Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Komljenović, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:123:752904

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

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

Tomislav Komljenović

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	**PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Tomislav Komljenović
BROJ INDEKSA:	4235
KATEDRA:	**Katedra za metalne i drvene konstrukcije**
PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S355

Objekt se nalazi na području Rijeke.

Razmak okvira: 4,6 (m)

U Splitu, 8.9.2017.

Voditelj Završnog rada: prof.dr.sc Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

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

Ključne riječi:

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

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on the information about a steel manufacturing hall, our assignment is to design this structure: its main supporting structure, secondary structure, bracings and foundation.

Keywords:

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

SADRŽAJ

1 TEHNIČKI OPIS 3

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE 3
1.1.1 Općenito 3
1.1.2 Konstruktivni elementi 4
1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE 5
1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE 5
1.4 PRIMIJENJENI PROPISI 5
1.5 ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA 5
1.6 ZAŠTITA OD POŽARA 5

2 ANALIZA OPTEREĆENJA 6

2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 6
2.1.1 Stalno opterećenje 6
2.1.2 Pokretno opterećenje 7
2.1.2.1 Djelovanje snijega 7
2.1.2.2 Djelovanje vjetra 8
2.1.2.2.1 Određivanje pritiska na halu za područja dvostrešnog krova Θ=0 9
2.1.2.3 Određivanje pritiska na halu za vertikalne zidove 12

3 KONTROLA PROGIBA (GSU) 125

4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN) 157

4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 17
4.1.1 Kombinacija 1,35G+1,35(W2+S) 17
4.1.2 Kombinacija 1,35G+1,5S 18
4.1.3 Kombinacija 1,0G+1,5W2 19

5 **MODELI 20**
5.1 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 20
5.1.1 Model najopterećenije krovne podrožnice 20
5.1.1.1 Kombinacija 1,35G + 1,35 S + 1,35 W_1 22
5.1.1.2 Kombinacija 1,35G + 1,5 $W_{1,max}$ 21
5.1.1.3 Kombinacija 1,35G + 1,5 W_2 23
5.1.2 Model najopterećenije bočne podrožnice 24
5.1.3 Model zabatnih stupova 25
5.1.4 Model krovnih spregova 27
5.1.5 Model bočnih spregova 29

6 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE 30

6.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA 33
6.1.1 Dimenzioniranje stupa 33
6.1.2 Dimenzioniranje zabatnog stupa 38
6.1.3 Dimenzioniranje gornjeg pojasa rešetke 42
6.1.4 Dimenzioniranje donjeg pojasa rešetke 44

6.1.5 Dimenzioniranje dijagonala (ispuna rešetke) 47
6.1.6 Dimenzioniranje vertikala (ispuna rešetke) 50
6.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 53
6.2.1 Dimenzioniranje krovnih spregova 53
6.2.2 Dimenzioniranje bočnih spregova 54
6.2.3 Dimenzioniranje krovnih nosača (podrožnica) 56
6.2.4 Dimenzioniranje Bočnih nosača (podrožnica) 63

7 DIMENZIONIRANJE SPOJEVA 67

7.1 SPOJ STUP-TEMELJ 68
7.2 SPOJ STUP-REŠETKA 71
7.3 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE – DONJI POJAS 74

8 PRORAČUN TEMELJA 76

9 NACRTI 77

10 TABLICA PREMJERA MATERIJALA 88

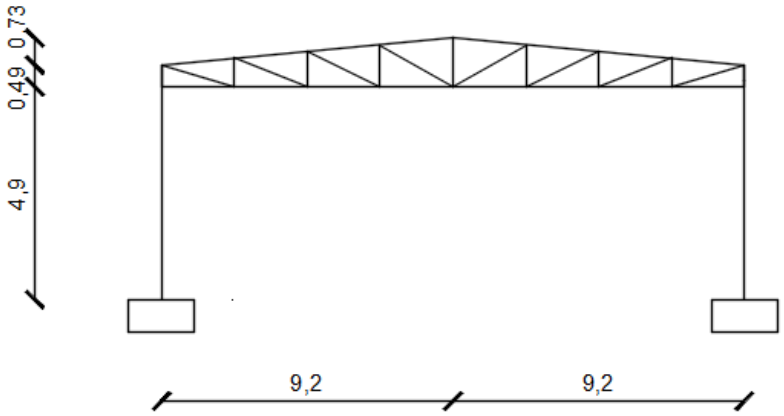
11 LITERATURA 87

1 TEHNIČKI OPIS

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

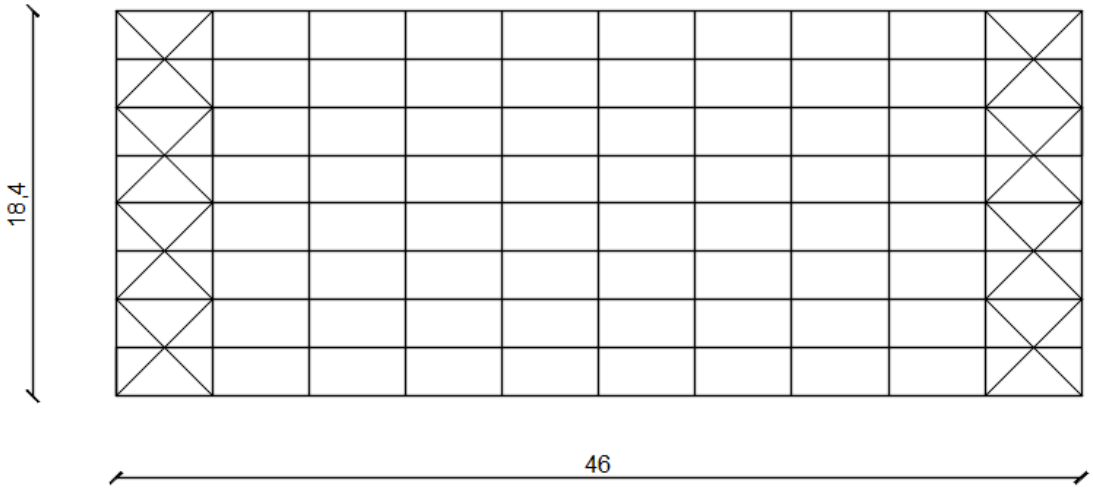
1.1.1 OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimnzije su 18,4 x 46,0 (m), a visina iznosi 6,12 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom α = 4,57°, što je ekvivalentno nagibu od 8%. Projektirana je za potrebe skladištenja.



1. *Slika 1 Prikaz glavnog nosača*

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 11 ravninskih rešetki raspona 18,4 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 4,6 (m).



Slika 2 Tlocrtni prikaz konstrukcije

Na grede okvira se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,31 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 2,45 (m).

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

Kao pokrov koriste se aluminijski sendvič paneli.

Stupovi i grede su nosači međusobno spojeni upetim vezama zbog zahtjeva uporabljivosti same hale. Spoj stupa sa temeljem ostvaren je upetom vezom.

1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

- **GORNJI I DONJI POJAS**

Proračunom su odabrani kvadratni šuplji hladno oblikovani profili – MSH 140x140x10.

- **STUPOVI**

Proračunom su odabrani stupovi I profili HEA240 ukupne dužine 4900 (mm), a za zabatne stupove na razmaku od 4,6m odabrani su I profili HEA140. Odabrani profil stupa zadovoljava i pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja, točnije pomaci stupa su manji od dopuštenih pomaka.

- **ISPUNA REŠETKE**

Proračunom je za dijagonale odabran profil RO 82,5x3,6, a za vertikale RO 82,5x3,6.

- **SEKUNDARNI NOSAČI**

Sekundarni krovni nosači prenose opterećenje sa krovne plohe na primarne nosače (gornji pojas rešetke). Za krovne podrožnice odabran je profil HEA 100, a za bočne podrožnice profil IPE 180.

- **SPREGOVI**

U konstrukciji su korišteni horizontalni (krovni) i vertikalni (bočni) spregovi za prostornu stabilizaciju objekta, koji služe za prijenos horizontalnih sila preko konstrukcije na temelje objekta. Polja za vertikalno i horizontalno ukrućenje smješteni su u prvom i posljednjem polju konstrukcije. Za krovne i bočne spregove koristimo iste profile ⌀14 zbog lakše izvedbe.

- **SPOJEVI**

SPOJ STUP – TEMELJ

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 500/280/31 (mm) navarenom na kraj stupa i pričvršćenom vijcima M24 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

SPOJ STUP – REŠETKA

Spoj grede na pojas stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 270/270/10 (mm),ukrutom i vijcima M12 k.v. 4.6 nosivim na vlak i odrez.

NASTAVAK REŠETKE

Spoj grede i grede na krovištu ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 280/280/25 (mm) i vijcima M16 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.

1.1 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 18,40 (m) širine krovne plohe.
Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „Scia Engineer 2016.“ koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.
Sekundarne konstrukcije modelirane su kao slobodno oslonjena greda. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.

1.2 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

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

1.3 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

1.4 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.

1.5 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.

1.6 MONTAŽA I TRANSPORT

Pozicije okvira, prikazane u radioničkom nacrtu glavnoga okvira, izrezat će se u radionici te transportirati na gradilište i montirati. Kod montažnog načina građenja potrebno je izbjeći sva nepotrebna oštećenja.

2 ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

2.1.1 STALNO OPTEREĆENJE

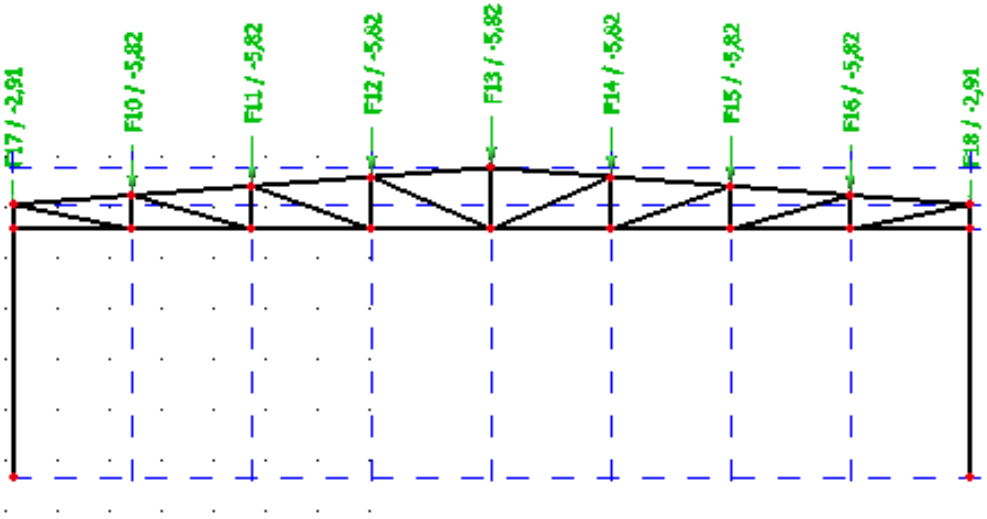
- sendvič paneli (aluminij)	0,25	kN/m^2
- sekundarna konstrukcija i spregovi	0,20	kN/m^2
- instalacije	0,10	kN/m^2
Σ =	0,55	kN/m^2

G_{kp} = 0,55 kN/m^2 · 4,6m = 2,53 kN/m'

Sile u čvorovima rešetke:

S1 =G_{kp}·1,1m = 2,53 · 1,15 = 2,91 kN

S2 =G_{kp}·2,2m = 2,53 · 2,31 = 5,82 kN



Slika 1.2 Stalno opterećenje na konstrukciju

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 = 0,75 kN/m^2<=> za Rijeku, 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 = 8/100=0,08➔α =4,57° ;

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 * 0,75= 0,6[kN/m^2]**

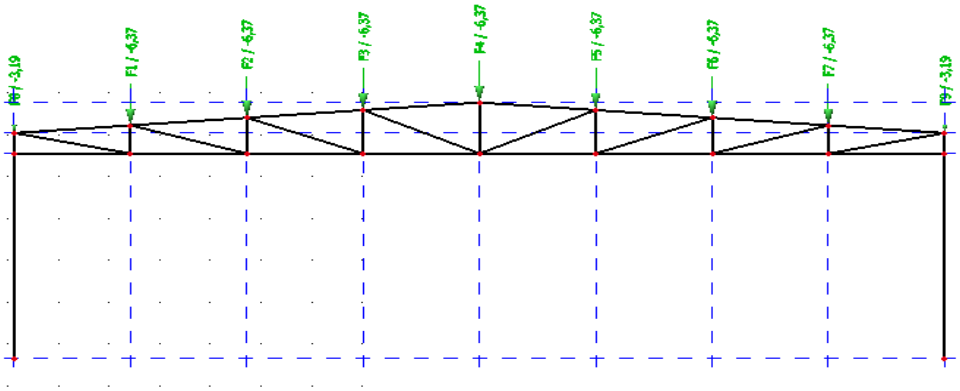
<u>Raspodijeljena sila na glavni nosač:</u>

S_1= 0,6 kN/m^2· 4,6 m= 2,76 kN/m

<u>Sile u čvorovima rešetke:</u>

S1 =S_1· 1,15m = 2,76· 1,15 = 3,19 kN/m'

S2 =S_1·2,31m = 2,76· 2,31 = 6,38 kN/m'



Slika 1.3 Opterećenje konstrukcije snijegom

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 $v_{b,0}$ =30(m/s))

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

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

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

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^{\,2} = 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 30^2 = 0{,}5625 (kN/m^2)$$

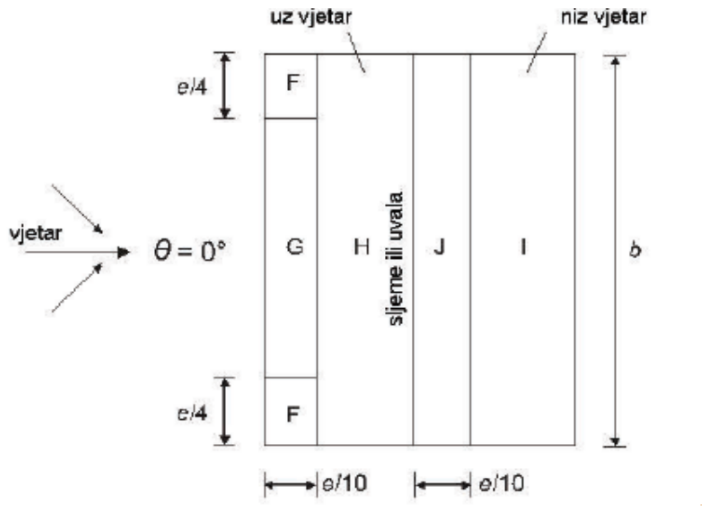
$c_e(z)$ => faktor izloženosti

$c_e(6{,}12) = 2$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$$q_p = c_e(z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^{\,2} = 2{,}0 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 30 = 1{,}125 (kN/m^2)$$

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



Slika 1.4 Prikaz područja vjetra za dvostrešne krovove Θ=0

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu skrovom nagiba α = 8,53° za područja dvostrešnog krova Θ=0

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

TaPODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2

Tablica 1Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

-

Pritisak vjetra na vanjske površine

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

q_p = 1,125 kN/m^2

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2
w_{e1} (kN/m^2)	-2,03	-1,35	-0,78	-0,23

- *Tablica 2Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2
w_{e2} (kN/m^2)	-2,03	-1,35	-0,78	0,23

- *Tablica 3Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije*

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], L=4,6 m→razmak okvira

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-2,03	-1,35	-0,78	0,23
w_i (kN/m^2)	0,23	-0,23	0,23	0,23
w_k (kN/m^2)	-1,8	-1,58	-1,02	+0,00
W_k (kN/m')	-8,3	-7,2	-4,6	+0,00

Tablica 4Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivni pritisak

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

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], L = 4,6 m→ razmak okvira

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-2,03	-1,35	-0,78	0,23
w_i (kN/m^2)	0,34	0,34	0,34	0,34
w_k (kN/m^2)	-1,69	-1,01	-0,44	+0,57
W_k (kN/m')	-7,77	-4,6	-2,02	+2,62

- *Tablica 5Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

Vjetar W3(max odizanje) pozitivni unutarnji pritisak (c_{pi} = +0,2) + min. odizanje

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], L = 4,6 m→ razmak okvira

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-2,03	-1,35	-0,78	-0,23
w_i (kN/m^2)	-0,23	-0,23	-0,23	-0,23
w_k (kN/m^2)	-2,26	-1,58	-1,13	-0,52
W_k (kN/m')	-10,4	-7,2	-5,2	-2,4

Tablica 6Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak

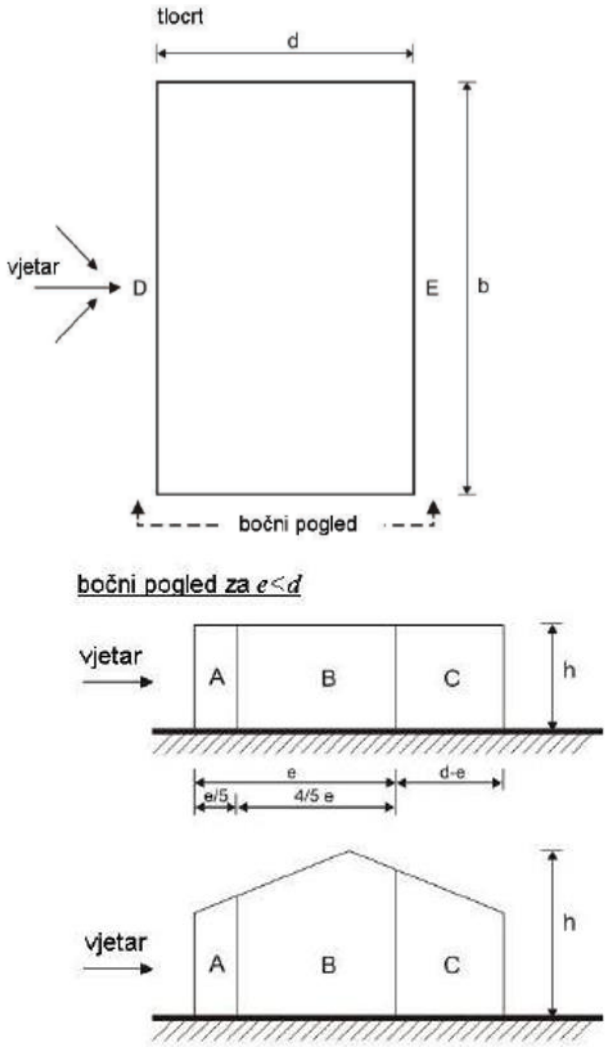
Vjetar W4(max pritisak) negativni unutarnji pritisak (c_{pi} = –0,3) + min. odizanje

$W_k = w_k \cdot L$ [kN/m'], L = 4,6 m→ razmak okvira

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-2,03	-1,35	-0,78	-0,23
w_i (kN/m^2)	0,34	0,34	0,34	0,34
w_k (kN/m^2)	-1,69	-1,01	-0,49	+0,123
W_k (kN/m')	+7,77	+4,6	+2,25	-0,56

Mjerodavne kombinacije su W3 (za odizanje) i W2 (za pritisak).

2.1.2.3 ODREĐIVANJE PRITISKA NA HALU ZA VERTIKALNE ZIDOVE



Slika 1.5 Prikaz područja vjetra za vertikalne zidove

- Koeficijenti vanjskog pritiska na halu za vertikalne zidoveh/d=0,358

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

Tablica 7Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

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

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

q_p = 1,125 kN/m^2-preuzeto iz analize opterećenja glavne nosive konstrukcije

PODRUČJE	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	–1,2	–0,8	–0,5	+0,8	–0,5
w_e (kN/m^2)	-1,35	-0,9	-0,56	+0,9	-0,56

Tablica 8Vanjski koeficijenti pritiska prema područjima konstrukcije

Pritisak vjetra na unutarnje površine

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

q_p = 1,125 kN/m^2, $c_i(z_i)$ = 2,0

w_i = 1,125· 0,2 = +0,23 kN/m^2

w_i = 1,125· (-0,3) = -0,34kN/m^2

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m^2)	-1,35	-0,9	-0,56	0,9	-0,56
w_i (kN/m^2)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
w_k (kN/m^2)	-1,58	-1,13	-0,79	0,67	-0,79
W_k (kN/m')	-7,2	-5,2	-3,6	-3,1	-3,6

- *Tablica 9Proračun sila prema područjima konstrukcije za pozitivan pritisak*

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

PODRUČJE	A	B	C	D	E
w_e (kN/m^2)	-1,35	-0,9	-0,56	+0,9	-0,56
w_i (kN/m^2)	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34
w_k (kN/m^2)	-1,01	-0,56	-0,22	1,24	-0,22
W_k (kN/m')	-4,6	-2,5	-1,0	5,7	-1,0

- *Tablica 10Proračun sila prema područjima konstrukcije za negativan pritisak*

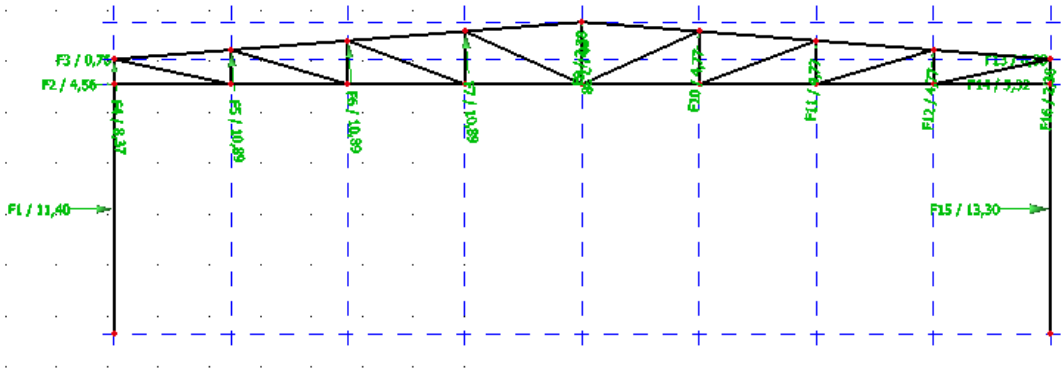
W1

W_1= 10,4 (kn/m') *F zona* *W_6= 3,1 (kn/m')* *D zona*

W_2= 7,2 (kn/m') *G zona* *W_7= 3,6 (kn/m')* *E zona*

W_3= 5,2 (kn/m') H zona

W_4= 2,4 (kn/m') I zona



- *Slika 1.6 Opterećenje vjetrom W1 u čvorovima rešetke*

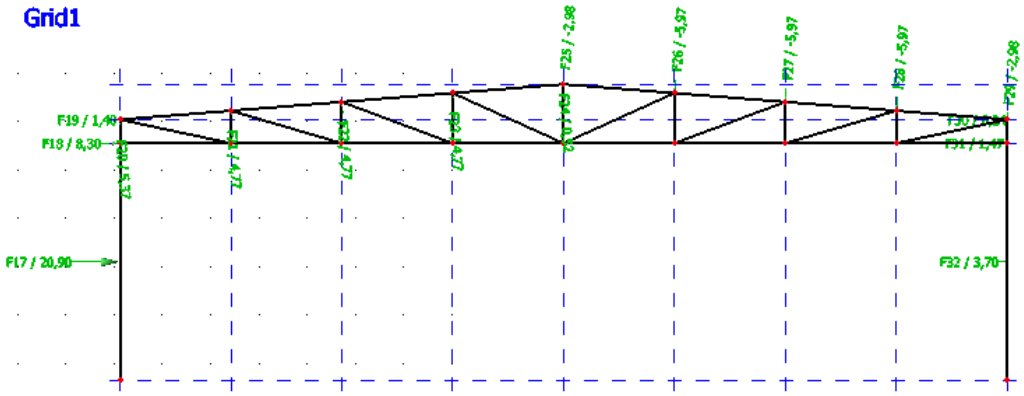
W2

W_1= 7,77 (kn/m') *F zona* *W_6= 5,7 (kn/m')* *D zona*

W_2=4,6 (kn/m') *G zona* *W_7=1,0 (kn/m')* *E zona*

W_3= 2,0 (kn/m') *H zona*

W_4= 2,62 (kn/m') *I zona*



- *Slika 1.7 Opterećenje vjetrom W2 u čvorovima rešetke*

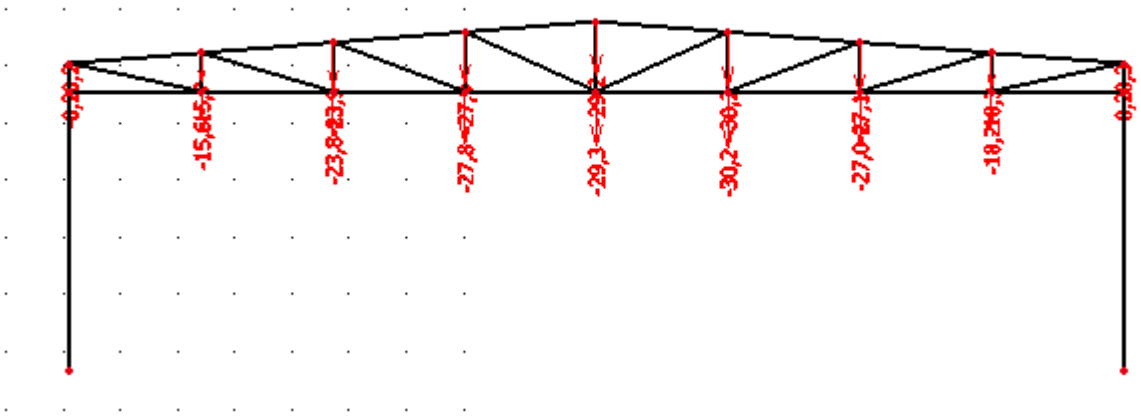
3 KONTROLA PROGIBA (GSU)

Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini rešetke koji ne smije prekoračiti vrijednost od L/250, pri čemu je L duljina donjeg pojasa rešetke i horizontalni pomak na vrhu stupa koji ne smije prekoračiti vrijednost H/200 pri čemu je H visina stupa. Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU su jednaki jedinici.
Odabrani profili za koje dobivamo vrijednosti progiba su:

a) stup – HEA240
b) pojasnice- šuplji pravokutni pop. presjek 140x140x10
c) elementi ispune - cijevi 82,5x3,6

REŠETKA

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



Slika 1.8 Vertikalni progib rešetke

Pomak(mm)

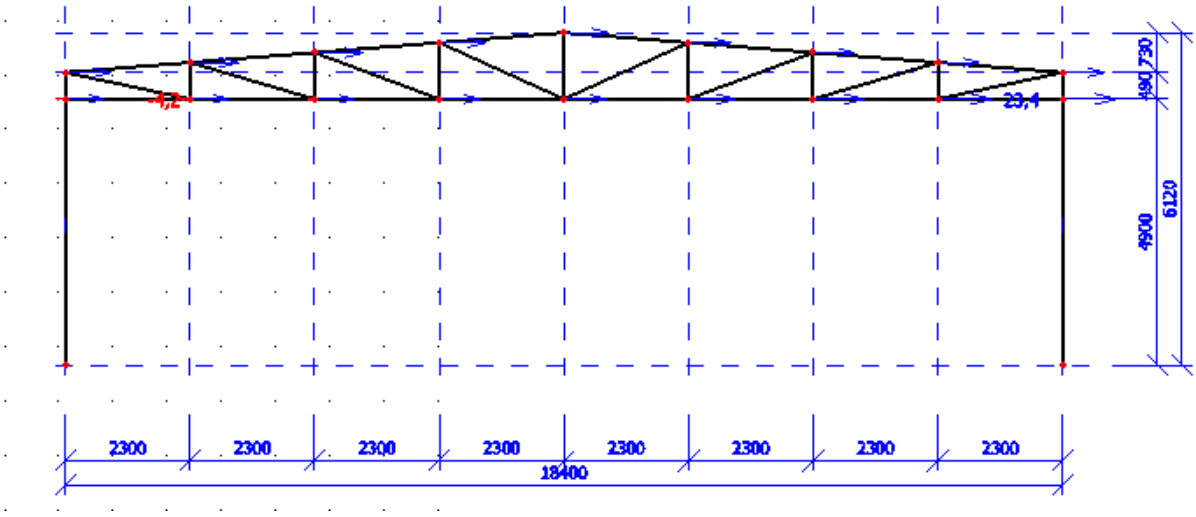
Dopušteni progib: L/250= 18400*mm*/250=73,6 *mm*

30,2/73,6 = 41 %

Najveći progib krovišta zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 41 %.

STUP

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



-Slika 11 Horizontalni progib Pomak(mm)

-

Dopušteni progib: H/200= 4900*mm*/200 = 24,5*mm*

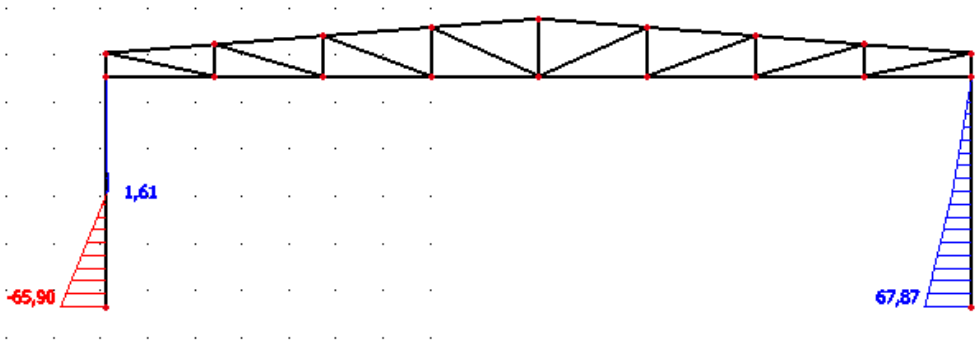
23,4/24,5 = 95,5 %

Najveći progib stupa zadovoljava u odnosu na dopušteni sa iskoristivosti 95,5 %.

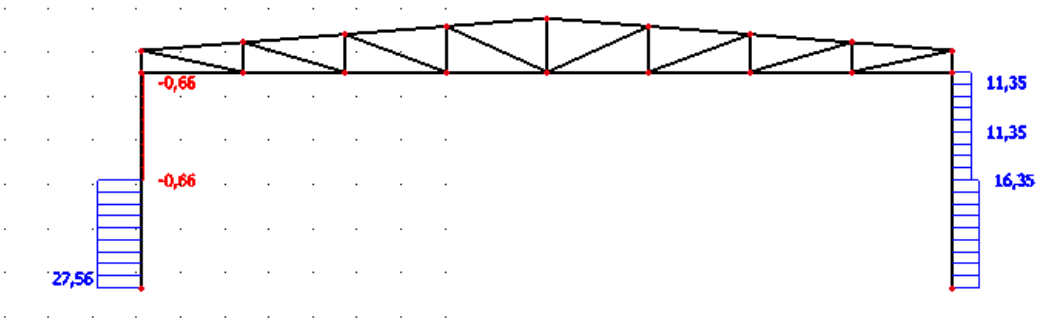
4 DIJAGRAMI REZNIH SILA ZA KOMBINACIJE DJELOVANJA (GSN)

4.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

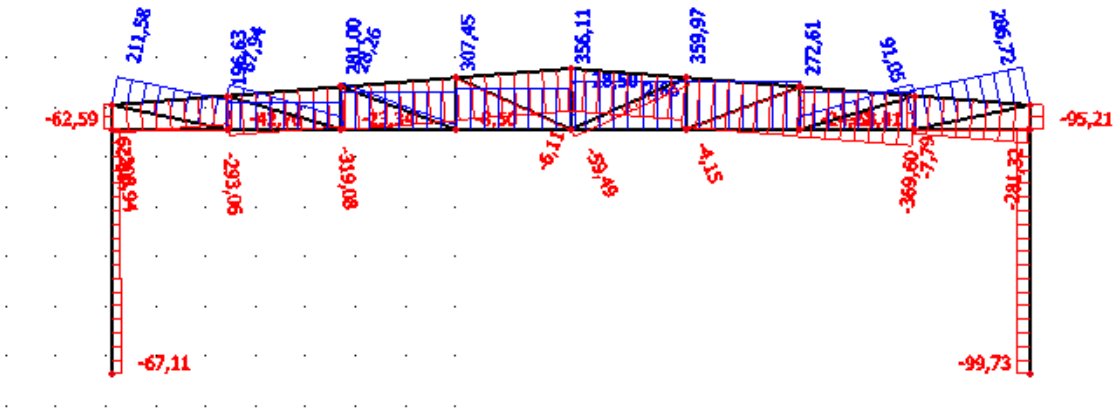
4.1.1 KOMBINACIJA 1,35G+1,35S+1,35W$_1$



Slika 2.0 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 1

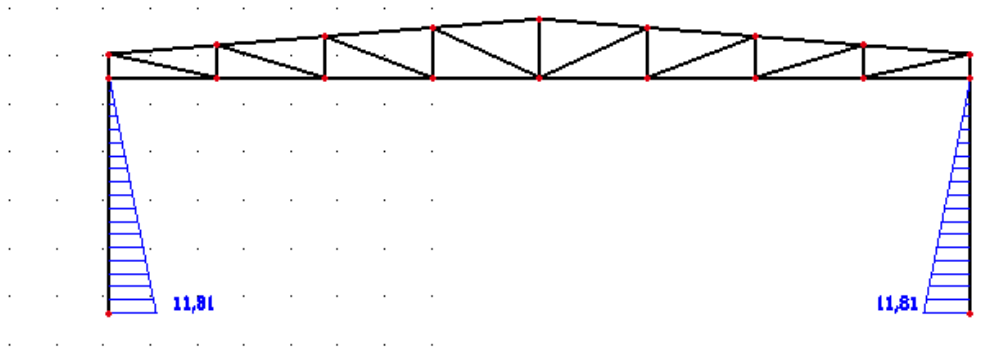


Slika 2.1 Dijagram poprečnih sila kombinacije 1

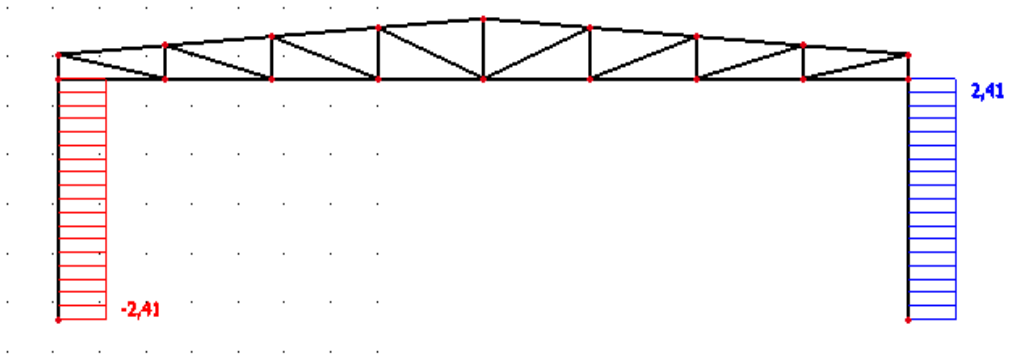


Slika 2.2 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 1

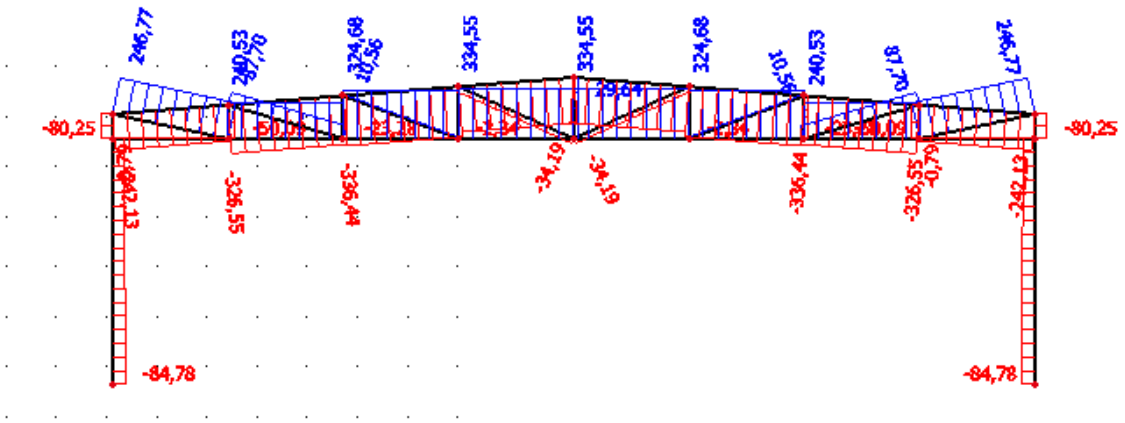
4.1.2 KOMBINACIJA 1,35G+1,5S



Slika 2.3 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 2

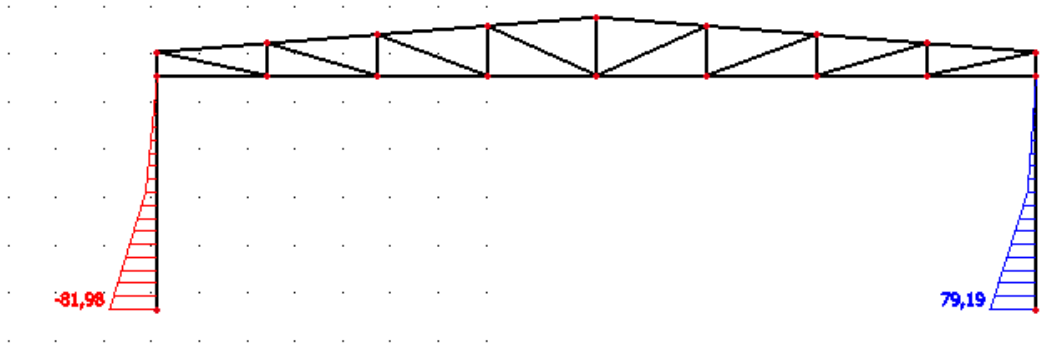


Slika 2.4 Dijagram poprečnih sila kombinacije 2

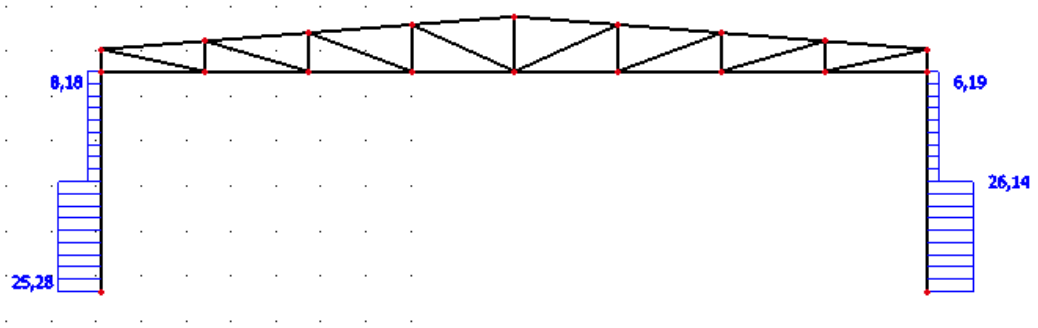


Slika 2.5 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 2

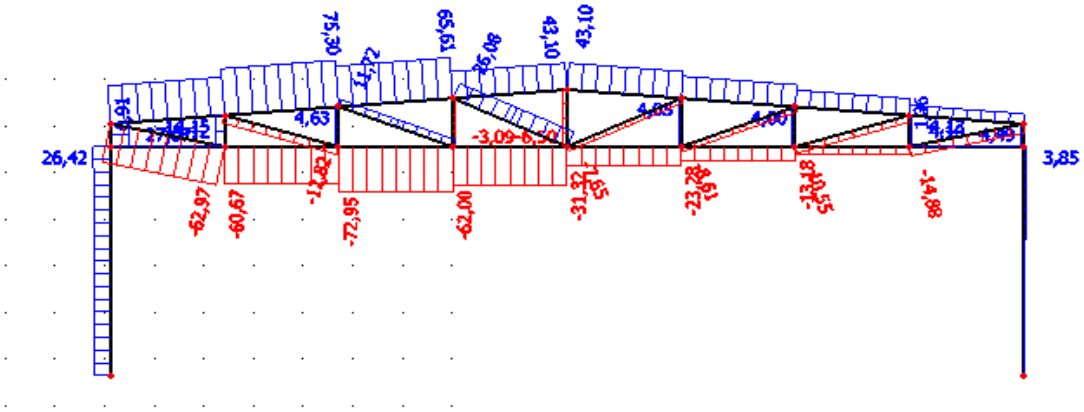
4.1.3 KOMBINACIJA 1,0G+1,5W2



Slika 2.6 Dijagram momentnog opterećenja kombinacije 3



Slika 2.7 Dijagram poprečnih sila kombinacije 3

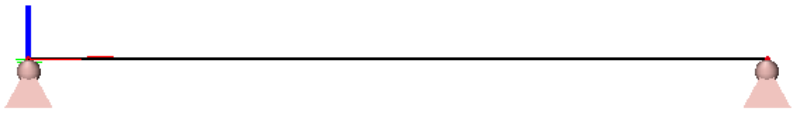


Slika 2.8 Dijagram uzdužnih sila kombinacije 3

5 MODELI

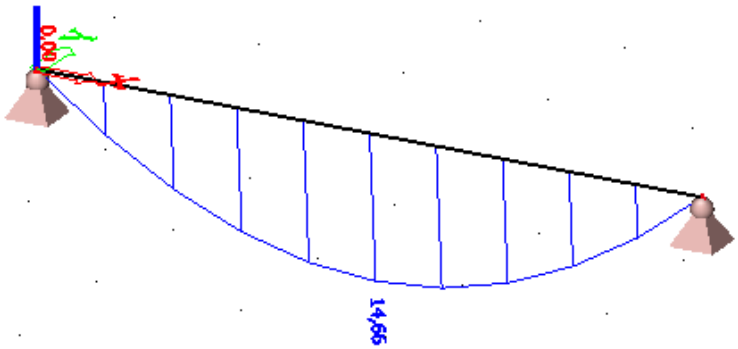
5.1 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

5.1.1 MODEL NAJOPTEREĆENIJE KROVNE PODROŽNICE

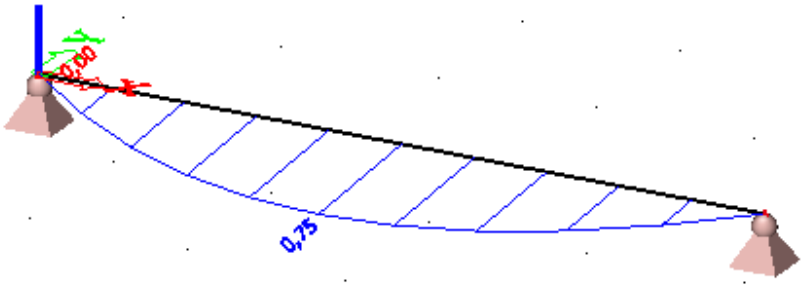


Slika 2.9 Prikaz modela krovne podrožnice

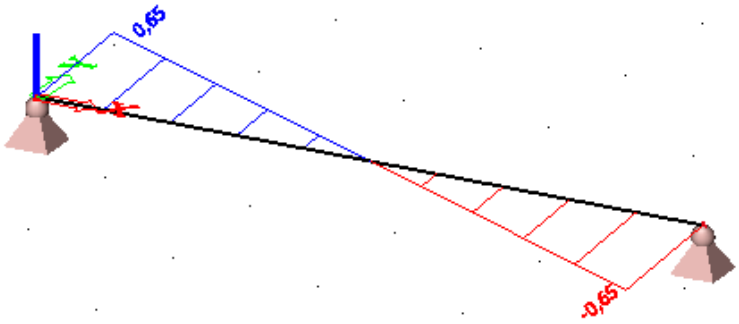
5.1.1.1 Kombinacija 1,35G+1,35S+1,35W$_1$



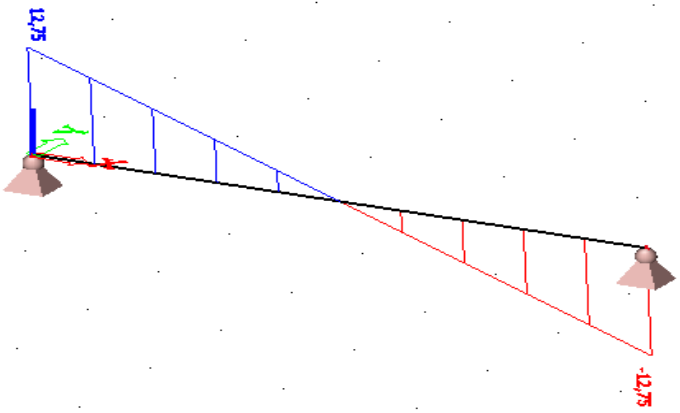
Slika 3.4. Dijagram momentnog opterećenja MY kombinacije 1



Slika 3.5. Dijagram momentnog opterećenja MZ kombinacije 1

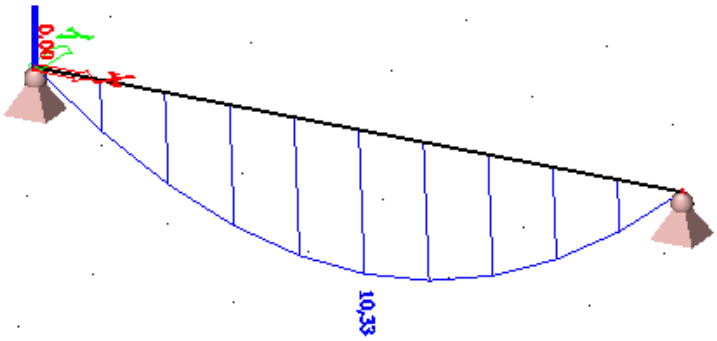


Slika 33.6. Dijagram poprečnih sila VY kombinacije 1

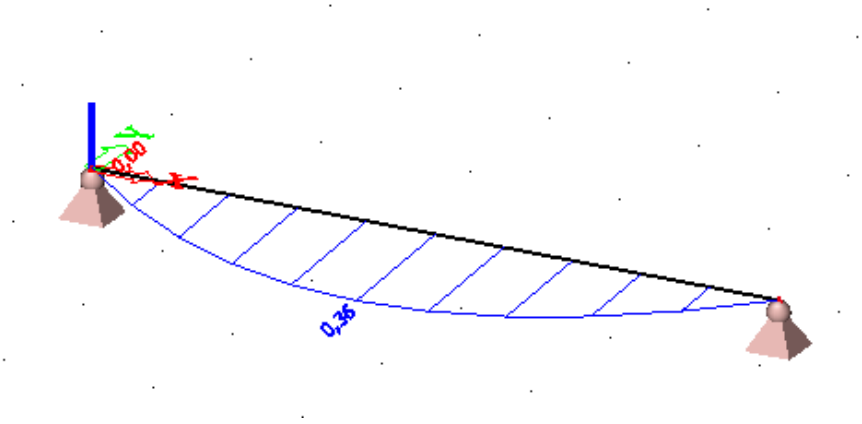


Slika 3.7.4 Dijagram poprečnih sila VZ kombinacije 1

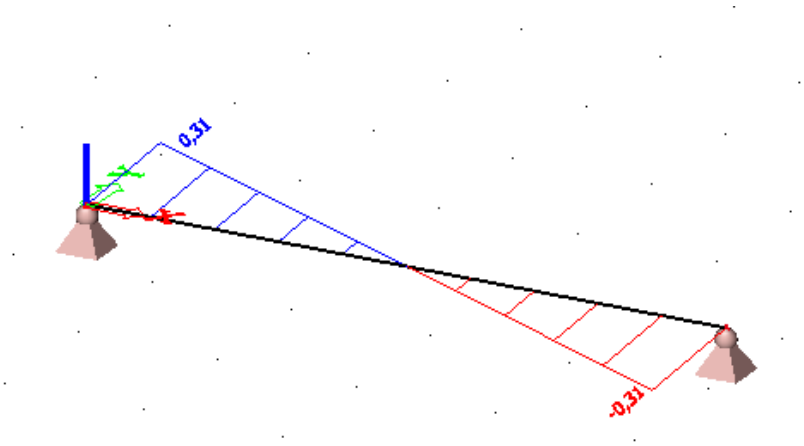
5.1.1.2 Kombinacija 1,35G+1,5W$_{1,MAX}$



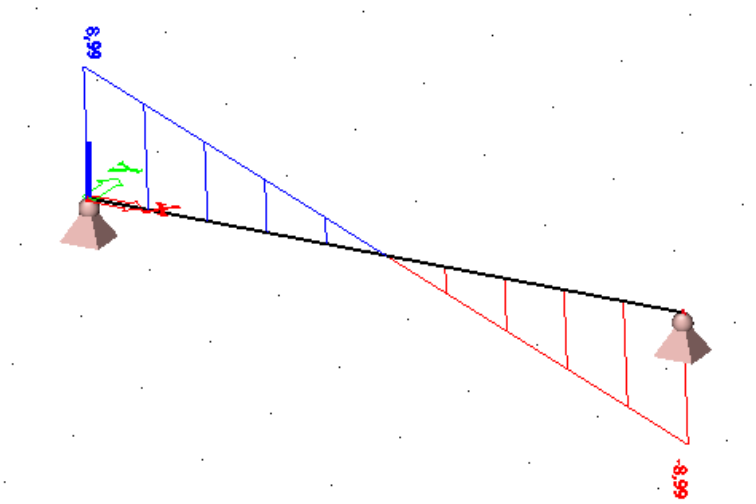
Slika 3.8. Dijagram momentnog opterećenja MY kombinacije 2



Slika 3.9. Dijagram momentnog opterećenja MZ kombinacije 2

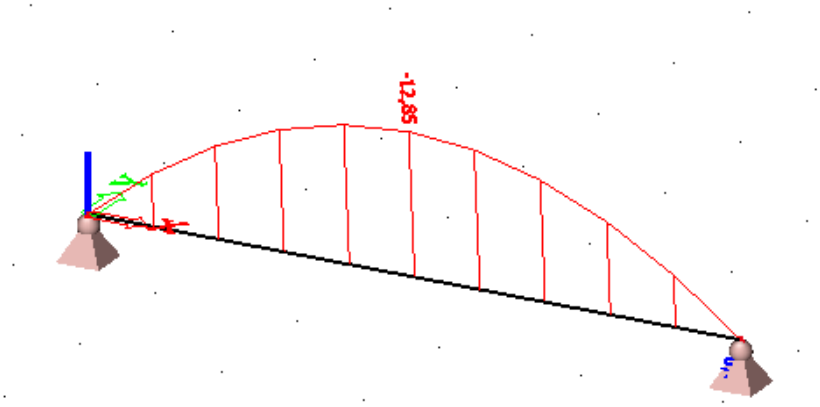


Slika 54.0. Dijagram poprečnih sila VY kombinacije 2

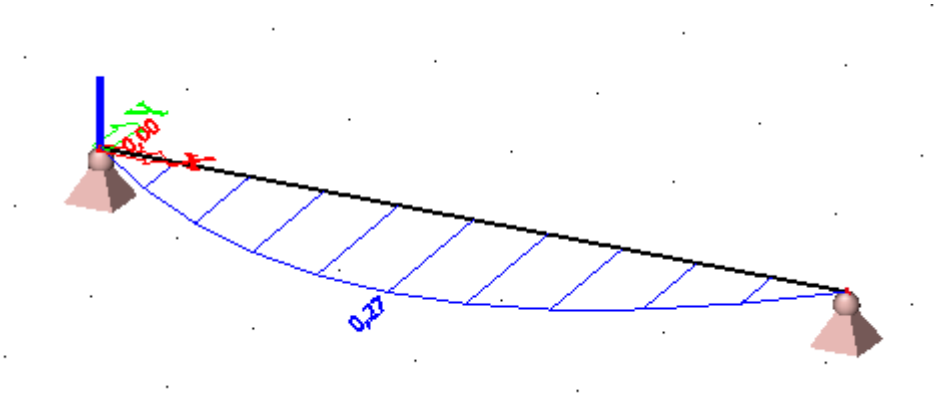


Slika 4.1.6 Dijagram poprečnih sila VZ kombinacije 2

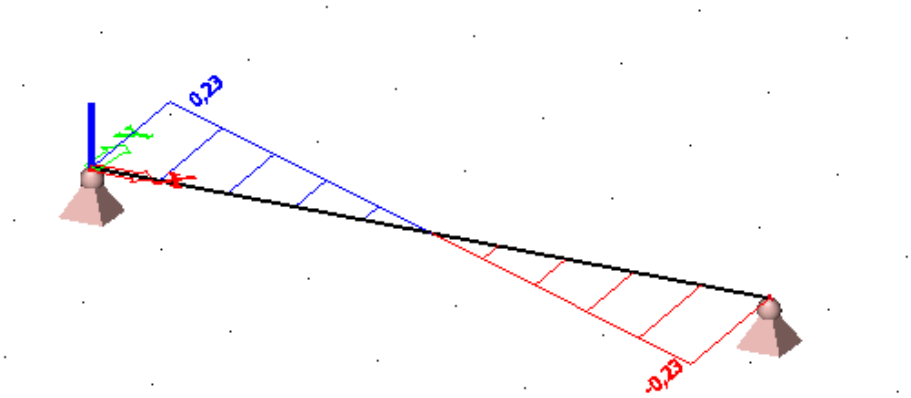
5.1.1.3 Kombinacija 1,0G+1,5W$_2$



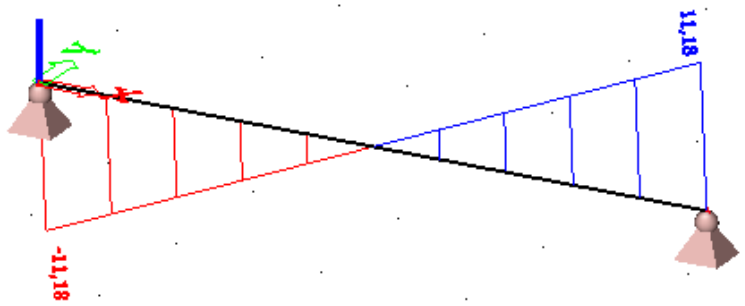
Slika 4.2. Dijagram momentnog opterećenja MY kombinacije 3



Slika 4.3. Dijagram momentnog opterećenja MZ kombinacije 3

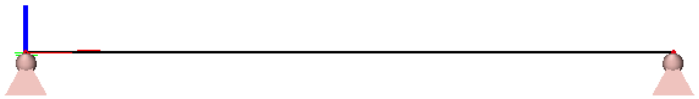


Slika 74.4. Dijagram poprečnih sila VY kombinacije 3

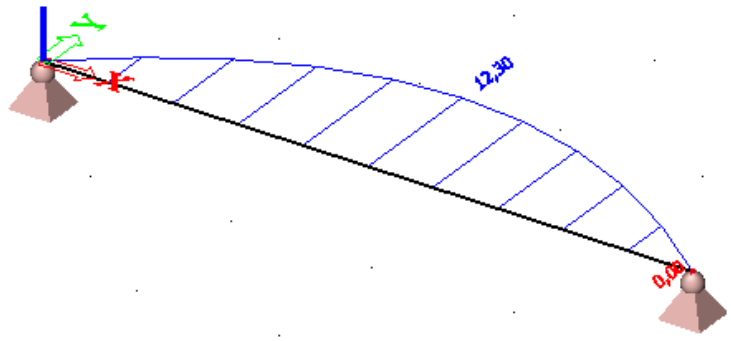


Slika 4.58 Dijagram poprečnih sila VZ kombinacije 3

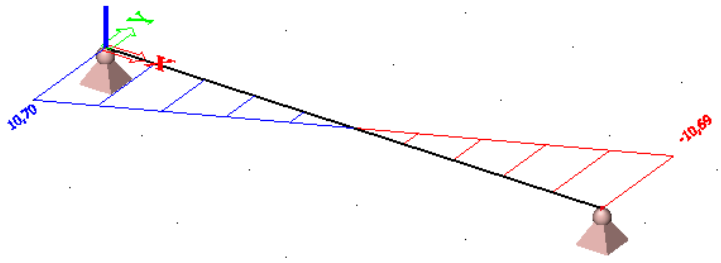
5.1.2 MODEL NAJOPTEREĆENIJE BOČNE PODROŽNICE



Slika 4.6 Prikaz modela bočne podrožnice

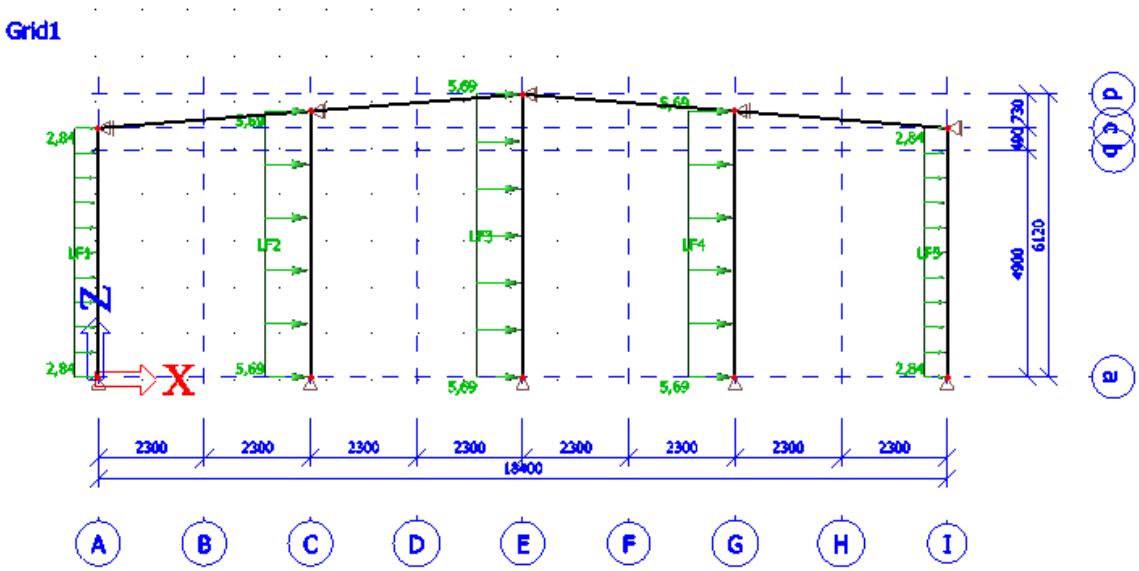


Slika 4.8. Dijagram momentnog opterećenja My bočne podrožnice

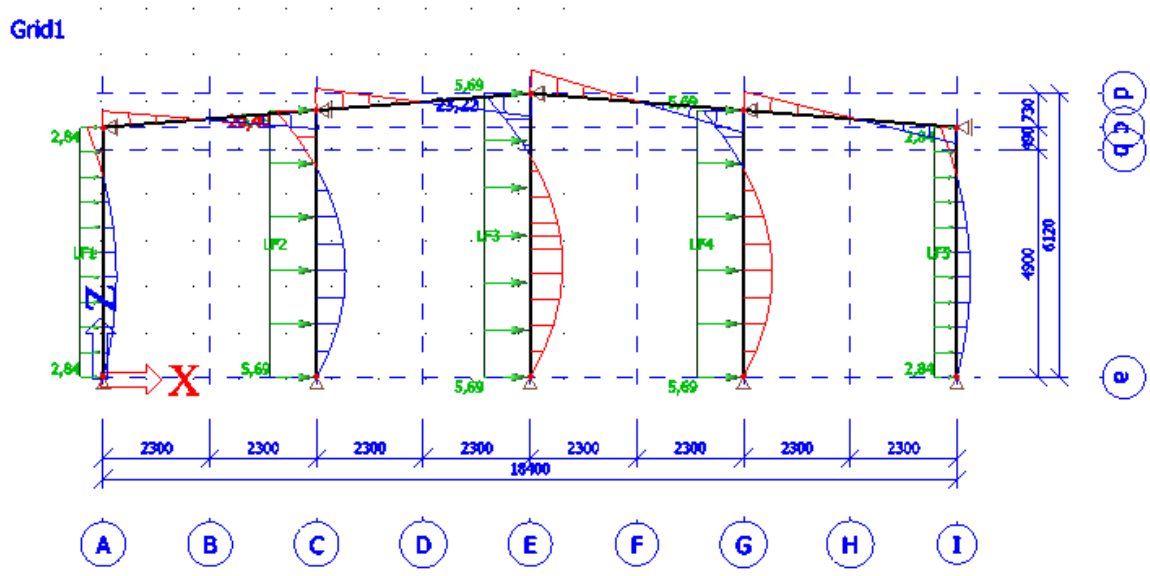


Slika 5.0.. Dijagram poprečnih sila Vz bočne podrožnice

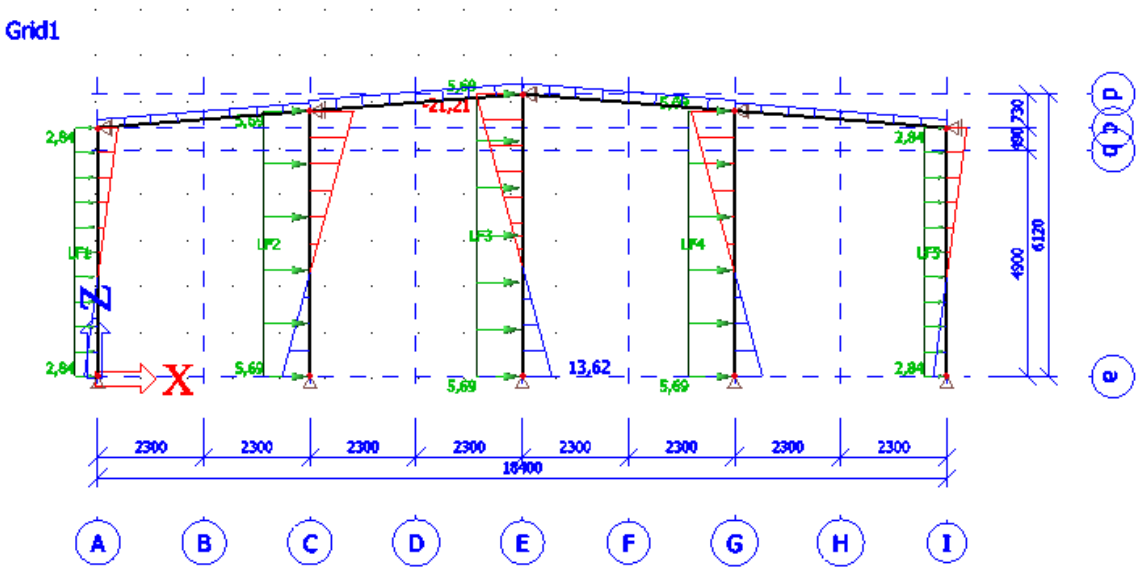
5.1.3 MODEL ZABATNIH STUPOVA



Slika 25 Prikaz modela zabatnog stupa



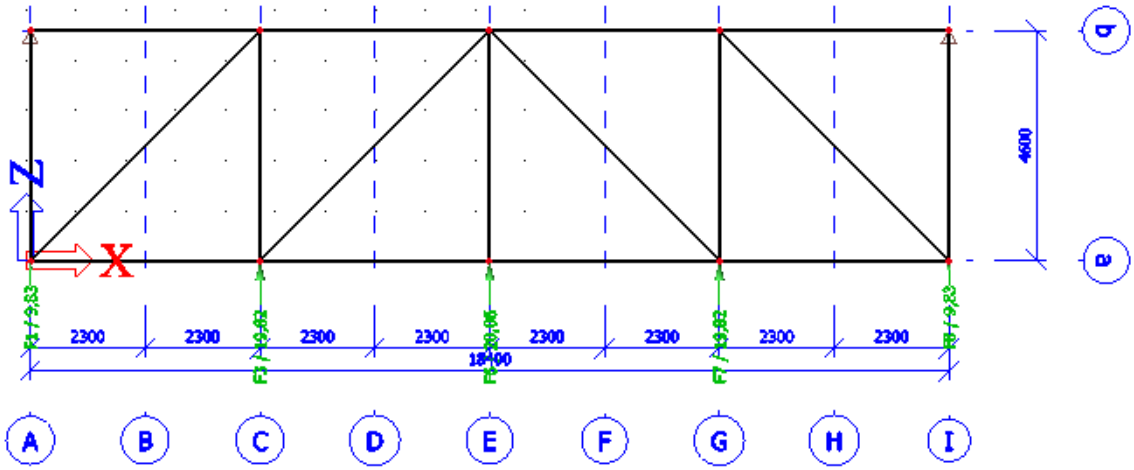
Slika 26. Dijagram momentnog opterećenja M zabatnog stupa



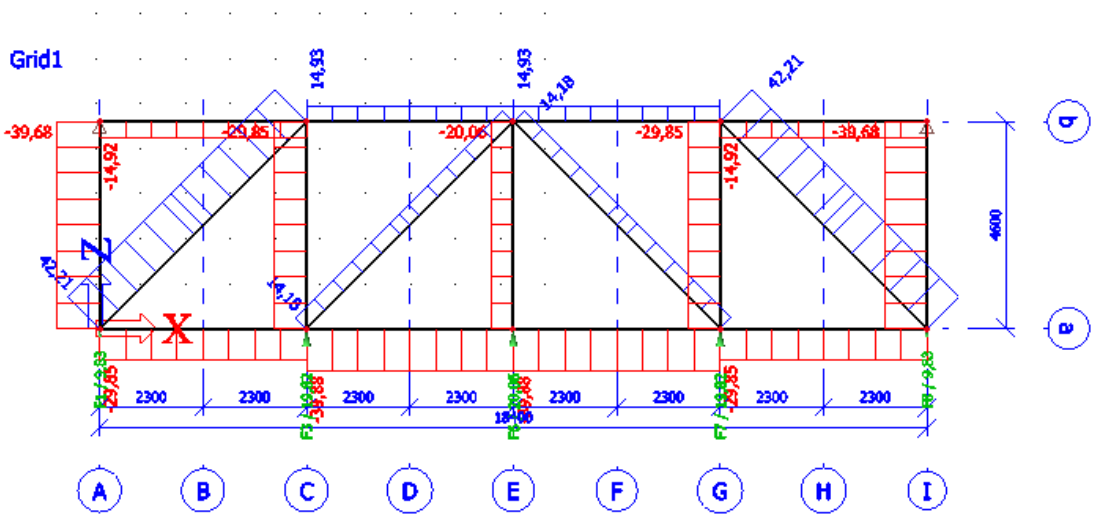
Slika 27. Dijagram poprečnih sila V na zabatni stup

a) 5.1.4. MODEL KROVNIH SPREGOVA

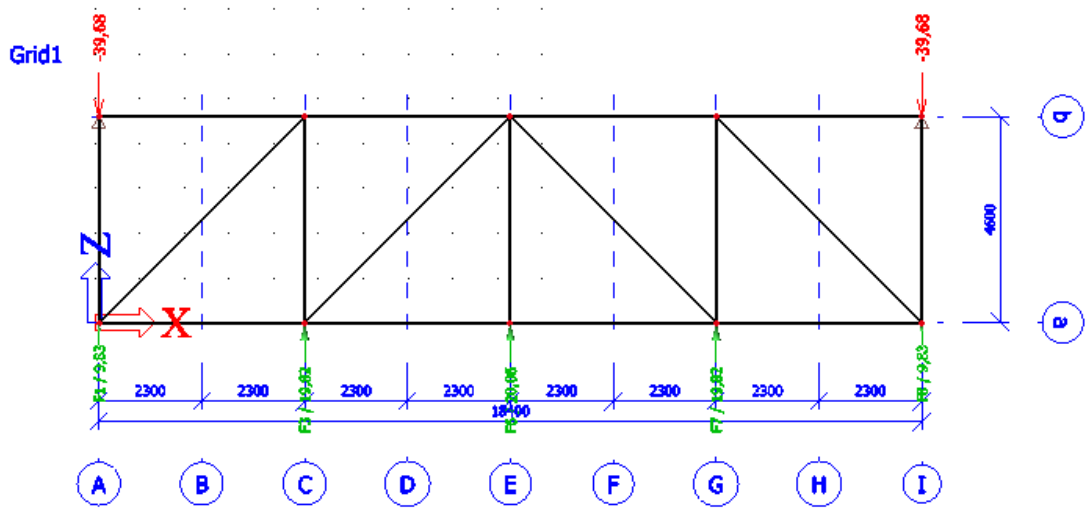
- **HORIZONTALNI SPREG**



Slika 28 Djelovanje opterećenja vjetrom na krovni spreg

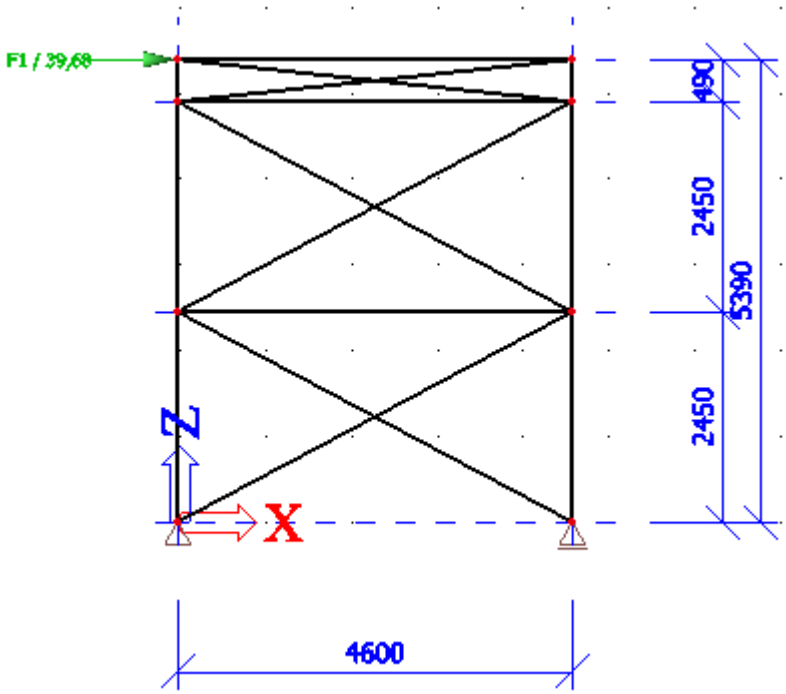


Slika 29. Dijagram uzdužnih sila N

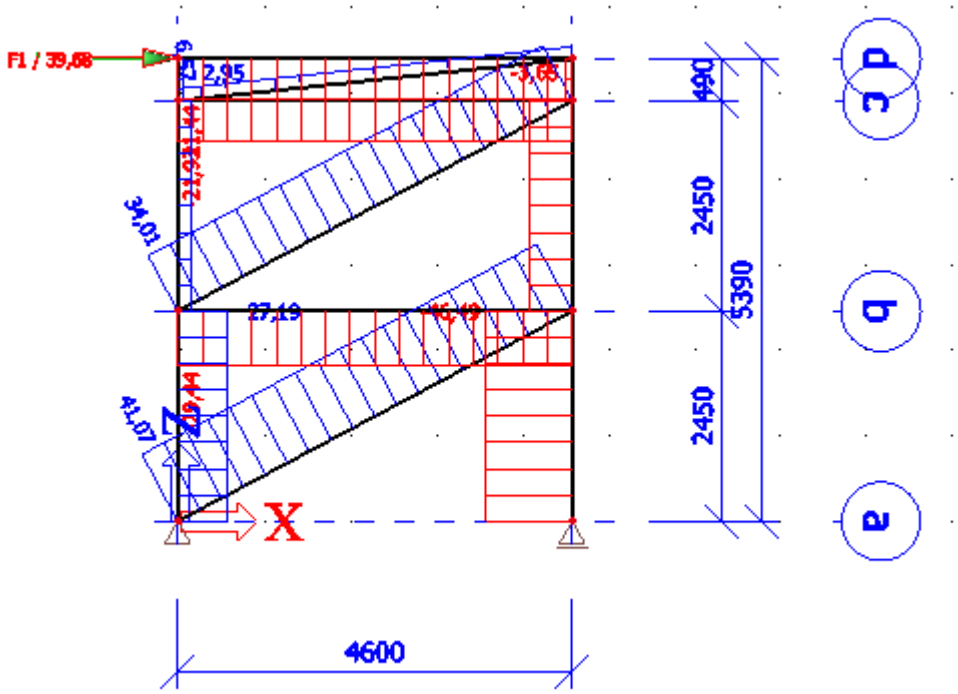


Slika 30. 9Prikaz reakcija modela krovnih spregova

- **VERTIKALNI SPREG**



Slika 31. 10Prikaz opterećenja na bočni spreg



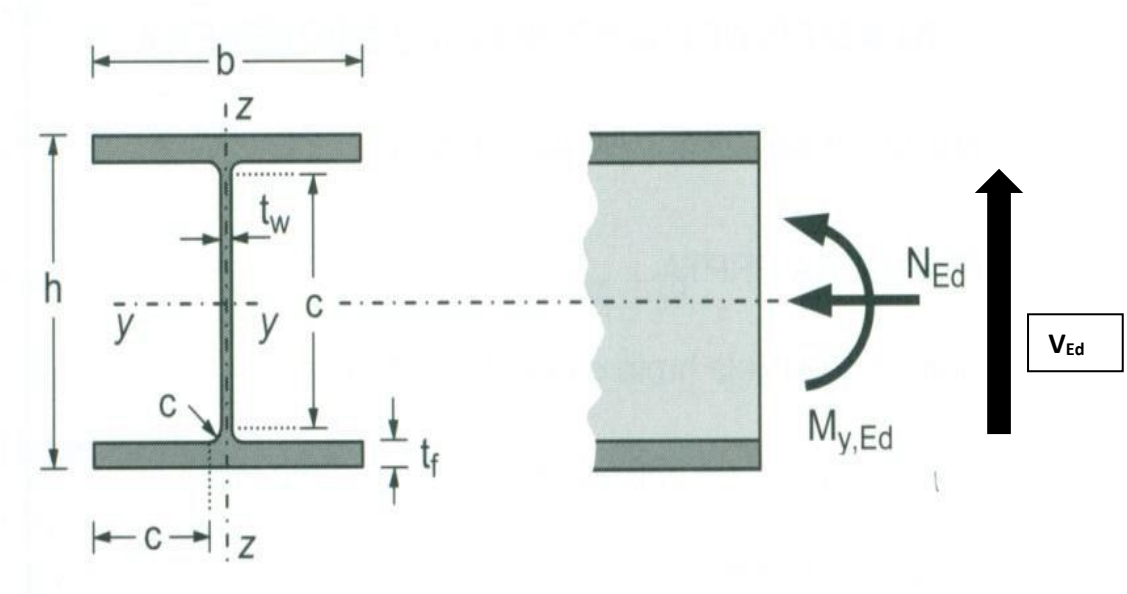
Slika 32. Dijagram uzdužnih sila N na bočni spreg

6 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

6.1 GLAVNA NOSIVA KONSTRUKCIJA

6.1.1 DIMENZIONIRANJE STUPA

•POPREČNI PRESJEK



Slika 6.0 Poprečni presjek stupa

Profil: HEA 240

Tip presjeka: valjani

Visina presjeka: h = 230 mm

Širina pojasnice: b = 240 mm

Debljina pojasnice: t_f = 12 mm

Debljina hrpta: t_w = 8 mm

Radijus: r = 21 mm

Površina: A=76,8cm^2

Momenti tromosti: I_y=7760 cm^4

I_z= 2770cm^4

Momenti otpora: $W_{pl,y}$ = 745,83 cm^3

$W_{pl,z}$ = 351,67 cm^3

Konstanta krivljenja: I_w = 328490 cm^6

Torzijska konstanta: I_t = 41,6 cm^4

ULAZNI PODACI:

Djelovanje: moment savijanja, poprečna sila, uzdužna sila →$M_{y,Ed}$ = 81,93 kNm

→ $V_{z,Ed}$ = 27,6kN

→ N_{Ed} = 93,1(tlak)

Materijal: S355→ f_y = 355 N/mm^2

→ ε = 0,81

→ E = 210 000 N/mm → ν = 0,3

a)Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

d = h - 2·t_f - 2·r = 230- 2·12 - 2·21 = 164 mm

t_w = 8 mm

$$\frac{d}{t_W} = \frac{164}{8} = 20{,}5$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_W \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{93{,}15}{2 \cdot 8 \cdot 35{,}5 / 1{,}0} = 0{,}165$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{164}\left(\frac{164}{2} + 0{,}165\right) = 0{,}501 > 0{,}5$$

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

$$\frac{d}{t_W} = 20{,}5 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0{,}81}{13 \cdot 0{,}501 - 1} = 58{,}14$$

Hrbat je klase 1.

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_W - 2 \cdot r}{2} = \frac{240 - 8 - 2 \cdot 21}{2} = 95 \text{ mm}$$

t_f = 12 mm

$$\frac{c}{t_f} = \frac{95}{12} = 7{,}9$$

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

$$\frac{c}{t_f} = 7{,}9 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}81 = 7{,}3$$

$$\frac{c}{t_f} \leq 10 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = 7{,}9 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0{,}81 = 8{,}1$$

Pojasnica je klase 2.

Poprečni presjek je svrstan u klasu 2.

b)Otpornost poprečnog presjeka

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili (N_{Ed} = 93,1 kN)

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{76{,}8 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 2726{,}4kN$$

$$N_{c,Rd} = 2726{,}4kN > N_{Ed} = 93{,}1kN$$

Otpornost poprečnog presjeka zadovoljava i za kombinaciju vlastite težine i snijega gdje je stup izložen samo uzdužnoj tlačnoj sili N_{Ed} = 93,15 kN < $N_{c,Rd}$ = 2726,4 kN.

-Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju ($M_{y,Ed}$ = 81,9 kNm)

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{745{,}83 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 26476{,}96kNcm = 264{,}7kNm$$

$$M_{c,Rd} = 264{,}7kNm > M_{y,Ed} = 81{,}9kNm$$

-Posmična otpornost poprečnog presjeka ($V_{z,Ed}$ = 28,6 kN)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{230 - 2 \cdot 12}{8} = 25{,}75$$

$$25{,}75 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}2} = 48{,}6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$A_{v,z} = 76{,}8 - 2 \cdot 24 \cdot 1{,}2 + (0{,}8 + 2 \cdot 2{,}1) \cdot 1{,}2 = 25{,}2\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 73{,}4 \cdot 1{,}5 = 19{,}7\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{25{,}2 \cdot (35{,}5 / \sqrt{3})}{1{,}0} = 516{,}5\ kN$$

$$V_{pl,z,Rd} = 516{,}5kN > V_{z,Ed} = 28{,}6kN$$

Interakcija M-V-N

Presjek u x = 0 m (dno stupa): $\rightarrow M_{y,Ed} = 81{,}93$ kNm

$\rightarrow V_{z,Ed} = 28{,}66$ kN

$\rightarrow N_{Ed} = 93{,}15$ (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.

$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 516{,}5 = 258{,}25$ kN

$V_{z,Ed} = 28{,}66$ kN $< 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 258{,}25$ kN $\rightarrow$ 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) $N_{Ed} \leq \dfrac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$N_{Ed} = 93{,}15$ kN $\leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2726{,}4 = 681{,}6$ kN

$N_{Ed} = 93{,}15$ kN $\leq \dfrac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \dfrac{0{,}5 \cdot 20{,}6 \cdot 0{,}8 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 292{,}5$ kN

niska razina uzdužne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

Profil HEA 240 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:

$$\frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0{,}96 \leq 1{,}2$$ $t_f = 12$ 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:

$L_{cr,y} = 343$ cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2{}_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7760}{343^2} = 13670{,}7kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{76{,}8 \cdot 35{,}5}{13670{,}7}} = 0{,}45$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_y - 0{,}2) + \overline{\lambda}_y{}^2\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34 \cdot (0{,}45 - 0{,}2) + 0{,}45^2] = 0{,}64$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \overline{\lambda}^2{}_y}} = \frac{1}{0{,}64 + \sqrt{0{,}64^2 - 0{,}45^2}} = 0{,}91$$

Izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z} = 171{,}5$ cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2{}_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2770}{171{,}5^2} = 19519{,}6kN$$

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{76{,}8 \cdot 35{,}5}{19519{,}6}} = 0{,}37$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha\cdot(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}49\cdot(0{,}37-0{,}2) + 0{,}37^2] = 0{,}61$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \bar{\lambda}_z^{\,2}}} = \frac{1}{0{,}61 + \sqrt{0{,}61^2 - 0{,}37^2}} = 0{,}91$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}91$.

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}91 \cdot 76{,}8 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 2481kN > N_{Ed} = 93{,}15kN$$

Otpornost elementa na tlak zadovoljava i za kombinaciju vlastite težine i snijega gdje je stup izložen samo uzdužnoj tlačnoj sili N_{Ed} = 93,15 kN < $N_{b,Rd}$ =2481 kN.

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

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = H = 343,0 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{230}{2} = 115cm$$

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

k = 0,7 $\quad C_1 = 1{,}77$

$k_w = 1{,}0 \quad C_2 = 0$

$$M_{cr} = 1{,}77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2770}{(0{,}7 \cdot 343)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{0{,}7}{1{,}0})^2 \cdot \frac{328490}{2770} + \frac{(0{,}7 \cdot 343)^2 \cdot 8077 \cdot 41{,}6}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2770} + (0 \cdot 115)^2} -$$

$-0\cdot 39{,}5] = 134317{,}74$ kNcm = 1343,1 kNm

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 745{,}83cm^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{745{,}83 \cdot 35{,}5}{1343{,}1}} = 0{,}44 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0{,}96 \langle 2$$

Mjerodavna krivulja izvijanja a→ $\alpha_{LT} = 0{,}21$.

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}44 - 0{,}2) + 0{,}44^2] = 0{,}62$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0{,}62 + \sqrt{0{,}62^2 - 0{,}44^2}} = 0{,}94 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}94 \cdot 745{,}83 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 24888{,}3\text{kNcm} = 248{,}8 \text{ kNm}$$

$M_{b,Rd} = 248{,}8$ kNm $> M_{y,Ed} = 81{,}9$ kNm

<u>-Interakcija M-N</u>

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

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

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

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

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

Za $\bar{\lambda}_z = 0{,}341 < 0{,}4$:

$$k_{zy} = 0{,}6 + \cdot\bar{\lambda}_z \ge [1-\frac{0{,}1}{(C_{mLT} - 0{,}25)}\cdot\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}]$$

$\alpha_h = M_h / M_s = 0.25$

$\psi = M_{h2} / M_{h1} = 0$

$C_{my} = 0{,}95 + 0{,}05\cdot\alpha_h = 0{,}95 + 0{,}05\cdot 0{,}25 = 0{,}963$

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

$$k_{yy} = 0{,}963\cdot[1+(0{,}45 - 0{,}2)\cdot\frac{93{,}15}{0{,}91\cdot 2726{,}4/1{,}0}] = 0{,}97$$

$$k_{yy} = 0{,}97 < 0{,}963\cdot\left[1+0{,}8\cdot\frac{93{,}15}{0{,}91\cdot 2726{,}4/1{,}0}\right] = 0{,}98$$

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

$k_{zy} = 0{,}6 + \cdot\bar{\lambda}_z = 0{,}97$

$$k_{zy} = 0{,}97 < [1-0{,}8\cdot\frac{93{,}15}{0{,}91\cdot 2726{,}4/1{,}0}] = 0{,}98$$

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

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

$$\frac{93{,}15}{0{,}91\cdot 2726{,}4/1{,}0} + 0{,}97\cdot\frac{81{,}9}{0{,}94\cdot 264{,}7/1{,}0} = 0{,}3568 \le 1{,}0$$

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

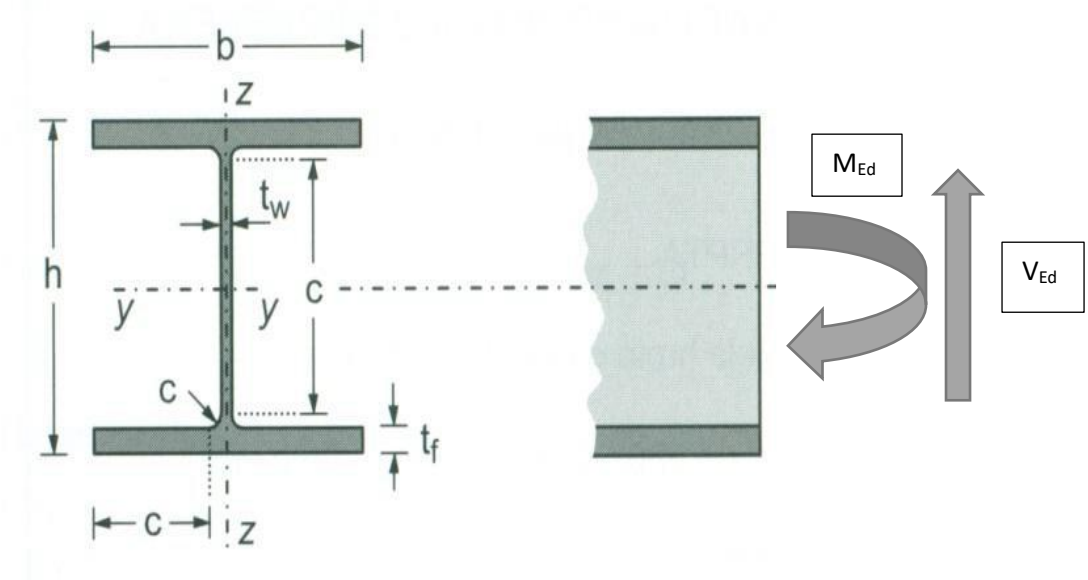
$$\frac{93{,}15}{0{,}91\cdot 2726{,}4/1{,}0} + 0{,}98\cdot\frac{81{,}9}{0{,}94\cdot 264{,}7/1{,}0} = 0{,}3601 \le 1{,}0$$

Profil HEA 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, sa iskoristivosti:

η = 36%.

6.1.2 DIMENZIONIRANJE ZABATNOG STUPA

POPREČNI PRESJEK



Slika 6.1 Poprečni presjek stupa

Odabrani profil		HEA 140
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A(cm^2)		31.40
Moment tromosti	$I_y(cm^4)$	1030
	$I_z(cm^4)$	389
Moment otpora	$W_{el,y}(cm^3)$	106
	$W_{pl,y}(cm^3)$	173.33
	$W_{el,z}(cm^3)$	38.5
	$W_{pl,z}(cm^3)$	85.0
Radijus tromosti	$i_y(cm)$	4.9
	$i_z(cm)$	3.0
Konstanta krivljenja	$I_w(cm^6)$	15064
Torzijska konstanta	$I_t(cm^4)$	8.13
Visina presjeka h (mm)		133

Širina pojasnice b (mm)	140
Debljina pojasnice t_f (mm)	9
Debljina hrpta t_w (mm)	6
Radijus r (mm)	12

- Klasifikacija poprečnog presjeka

$Materijal\ izrade$: $S355 \quad \varepsilon = 0{,}81$

- Hrbat

Uvjet za klasu presjeka I:

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{91\ mm}{6\ mm} = 15.167$$

$$\frac{d}{t_w} = 15.167 < 33 \cdot \varepsilon = 26{,}73$$

$$Hrbat\ zadovoljava\ uvjet\ te\ je\ svrstan\ u\ \boldsymbol{klasu\ I}.$$

- Pojasnica

Uvjet za klasu presjeka I:

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{55\ mm}{9mm} = 6.11$$

$$\frac{c}{t_f} = 6.111 < 9 \cdot \varepsilon = 7{,}29 \qquad Pojasnica\ zadovoljava\ uvjet\ te\ je\ svrstana\ u\ \boldsymbol{klasu\ I}.$$

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u **klasu I**.

- Otpornost poprečnog presjeka

<u>- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju</u>

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{173.33 \cdot 35.5}{1.0} = 61{,}53\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

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

$$23{,}23\ kNm < 61{,}53\ kNm\ \rightarrow zadovoljava!$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{133 - 2 \cdot 9}{6} = 19.167$$

$$19.6 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}2} = 48{,}6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$A_{v,z} = 25.3 - 2 \cdot 12 \cdot 0.8 + (0.5 + 2 \cdot 1.2) \cdot 0.8 = 8.9\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 11.5 \cdot 0.6 = 8.28\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{8.9 \cdot (35{,}5 / \sqrt{3})}{1.0} = 182{,}4\ kN$$

$$V_{pl,z,Rd} = 182{,}4\ kN > V_{z,Ed} = 21{,}2 kN$$

- Interakcija M - V

-presjek u L=0 m

$$0.5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 182{,}4 = 91{,}2\ kN$$

$$V_{z,Ed} = 21{,}2 kN < 91{,}2 kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

$$M_{V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 40.73 kNm$$

$$\frac{M_{Y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{23{,}23\ kNm}{61{,}53\ kNm} = 0.37 < 1.0$$

- **Profil HEA 140 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka**.

Otpornost elementa na savijanje

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = 612 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{13.3}{2} = 6.65 cm \qquad G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0{,}3)} = 8077 kN / cm^2$$

k = 1,0 C_1 = 1,127

k_w = 1,0 C_2 = 0,454

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389}{(1{,}0 \cdot 612)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{15064}{389} + \frac{(1 \cdot 612)^2 \cdot 8077 \cdot 8.13}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 389} + (0{,}454 \cdot 6.65)^2} -$$

$$-0.454 \cdot 6.65] = 38{,}4 \text{ kNm}$$

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 173.33$ cm^3

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{173.33 \cdot 35{,}5}{3840}} = 1{,}26 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$\frac{h}{b} = \frac{133}{140} = 0.95 < 2$ $\rightarrow$ *mjerodavna krivulja izvijanja* $\boldsymbol{a}$

$$\alpha_{LT} = 0.21$$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (1{,}26 - 0{,}2) + 1{,}26^2] = 1{,}4$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1{,}4 + \sqrt{1{,}4^2 - 1{,}26^2}} = 0.497 < 1{,}0$$

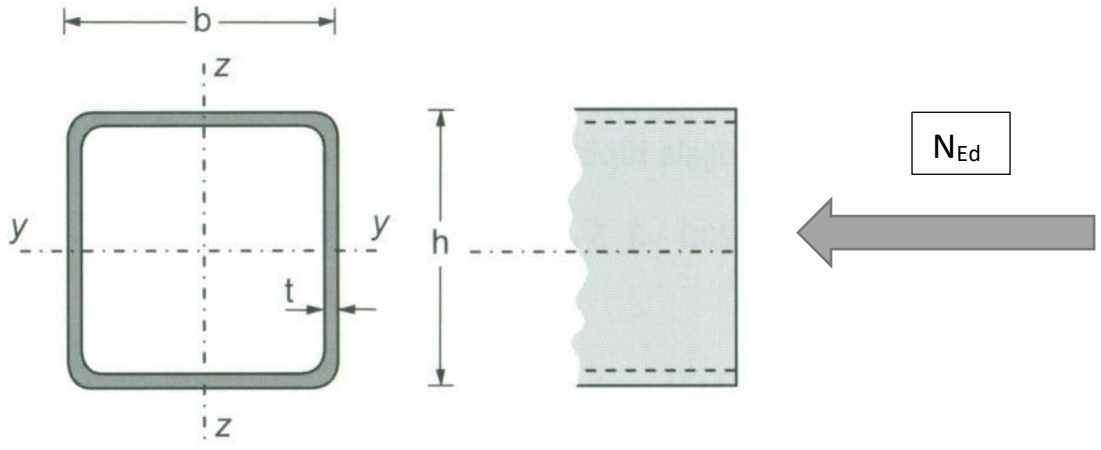
$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}497 \cdot 173.33 \cdot 35.5}{1.0} = 30{,}6 \text{ kNm}$$

$M_{b,Rd}$ = 30,6 kNm > $M_{y,Ed}$ = 23,23 kNm $\rightarrow$ *zadovoljava*!

Profil **HEA 140** zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti: $\boldsymbol{\eta = 76}$ %

6.1.3 DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA REŠETKE

•POPREČNI PRESJEK



Slika 6.2 Poprečni presjek grede

Maksimalne rezne sile

$N_{Ed} = 75{,}3\ kN\ (vlak)$

$N_{Ed} = -371{,}5\ kN\ (tlak)$

Karakteriskike poprečnog presjeka

Odabrani profil		CFRHS 140 x 140 x 10
Tip poprečnog presjeka		Valjani
Površina poprečnog presjeka A(cm^2)		50,9
Moment tromosti	$I_y(cm^4)$	1420
	$I_z(cm^4)$	1420
Moment otpora	$W_{el,y}(cm^3)$	202
	$W_{pl,y}(cm^3)$	245
	$W_{el,z}(cm^3)$	202
	$W_{pl,z}(cm^3)$	246
Radijus tromosti	$i_y(cm)$	5,3
	$i_z(cm)$	5,3
Konstanta krivljenja	$I_w(cm^6)$	4481,9
Torzijska konstanta	$I_t(cm^6)$	2770

Visina presjeka h (mm)	140
Širina pojasnice b (mm)	140
Debljina pojasnice t_f (mm)	10
Debljina hrpta t_w (mm)	10

- Klasifikacija poprečnog presjeka

- $Materijal\ izrade$: $S355 \quad \varepsilon = 0{,}81$

$$d = h - 3 \cdot t = 140 - 3 \cdot 10 = 110\ mm$$

$$\frac{d}{t} = \frac{110}{10} = 11 < 33 \cdot \varepsilon = 26{,}7$$

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u **klasu I**.

<u>-Otpornost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili (N_{Ed} = 75,3 kN)</u>

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{50{,}9 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 1806{,}95kN$$

$$N_{c,Rd} = 1806{,}95kN > N_{Ed} = 75{,}3kN$$

- Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila $N_{Ed} = -371{,}5\ kN\ (tlak)$

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{50{,}9 \cdot 35.5}{1{,}0} = 1806{,}9\ kN > N_{Ed} = 371{,}5kN$ → zadovoljava

- Otpornost elementa

Vrućevaljani šuplji profili→ krivulja izvijanja *a* → α = 0,21

-izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 231 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1420}{231.0^2} = 5515{,}5kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{50{,}9 \cdot 35{,}5}{5515{,}5}} = 0{,}57$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}57 - 0{,}2) + 0{,}57^2] = 0{,}7$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{0{,}7 + \sqrt{0{,}7^2 - 0{,}57^2}} = 0{,}9$$

-izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,y}$ = 460 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1420}{460.0^2} = 1390{,}8kN$$

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{50{,}9 \cdot 35{,}5}{1390{,}8}} = 1{,}14$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_y - 0{,}2) + \overline{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (1{,}14 - 0{,}2) + 1{,}14^2] = 1{,}25$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \overline{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{1{,}25 + \sqrt{1{,}25^2 - 1{,}14^2}} = 0{,}56$$

Mjerodavna je vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}56$

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

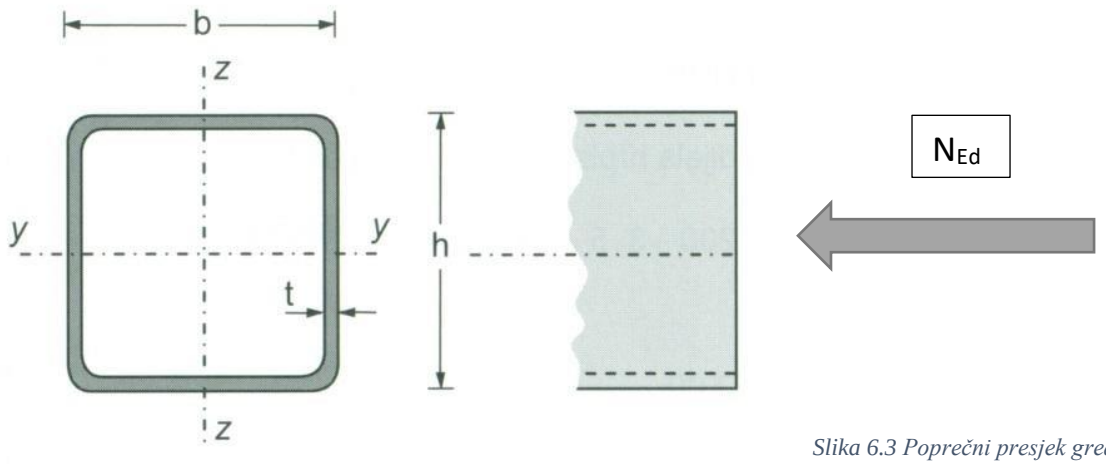
$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}56 \cdot 50{,}9 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 1011{,}8kN > N_{Ed} = 371{,}5kN \qquad \rightarrow \text{zadovoljava}$$

$$\eta = \frac{371{,}5}{1011{,}8} = 0{,}37$$

Profil **MSH 140x140x10** zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti**:** η = 37%.

6.1.4 DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE

•POPREČNI PRESJEK



Slika 6.3 Poprečni presjek grede

<u>Maksimalne rezne sile</u>

$N_{Ed} = 361{,}8\ kN\ (vlak)$

$N_{Ed} = -\ 71{,}57kN(tlak)$

<u>Karakteristike poprečnog presjeka</u>

Jednake kao karakteristike gornjeg pojasa.

- Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila $N_{Ed} = 361{,}8\ kN\ (vlak)$

$N_{c,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}9 \cdot 50{,}9 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 1626{,}2\ kN > N_{Ed} = 361{,}8kN$ → zadovoljava

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{50{,}9 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 1806{,}9\ kN > N_{Ed} = 71{,}57kN$ → zadovoljava

- Otpornost elementa

Vrućevaljani šuplji profili→ krivulja izvijanja *a* → α = 0,21

-izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 1840cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1420}{1840^2} = 86{,}93kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{50{,}9 \cdot 35{,}5}{86{,}93}} = 4{,}56$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (4{,}56 - 0{,}2) + 4{,}56^2] = 11{,}34$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}^2{}_y}} = \frac{1}{11{,}3 + \sqrt{11{,}3^2 - 4{,}56^2}} = 0{,}046$$

-izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z} = 230$ cm

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2{}_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1420}{230^2} = 5563{,}5kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{50{,}9 \cdot 35{,}5}{5563{,}5}} = 0.57$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0.57 - 0{,}2) + 0.57^2] = 0{,}7$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^{\,2} - \bar{\lambda}_z^{\,2}}} = \frac{1}{0.7 + \sqrt{0.7^2 - 0.57^2}} = 0.904$$

Mjerodavna je manja vrijednost za faktor redukcije $\chi = \chi_{min} = 0{,}046$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}046 \cdot 50{,}9 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 83{,}1kN > N_{Ed} = -71{,}57kN$$

→ zadovoljava

Iskoristivost poprečnog presjeka

$\eta = \frac{71{,}57}{83{,}1} = 0{,}86$ → TLAK

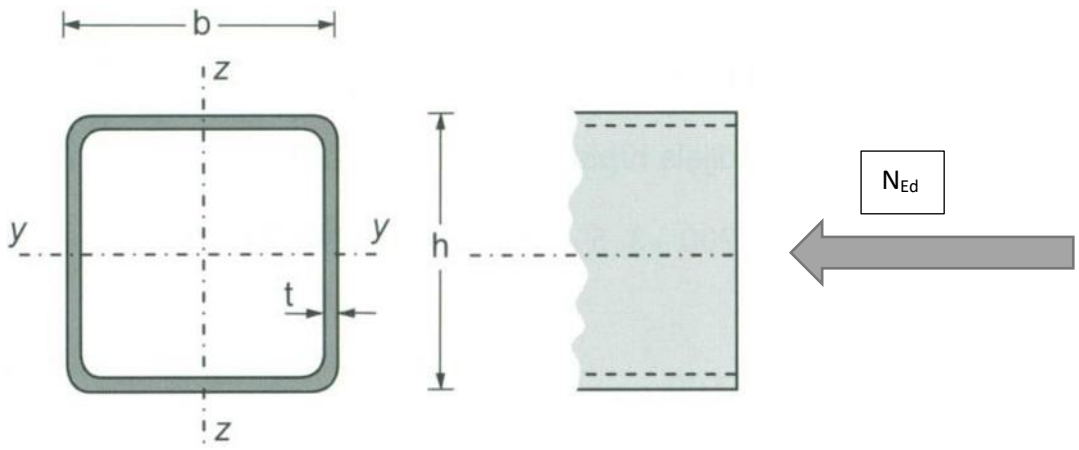
$\eta = \frac{361{,}8}{1626{,}2} = 0{,}22$ → VLAK

Profil **MSH 140x140x10** zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti $\boldsymbol{\eta} =$ **86%.**

Radi bolje iskoristivosti gornjeg pojasa mogla se dodati ukruta u donjem pojasu(npr. na polovici raspona) kako bi smanjili duljinu izvijanja oko te osi (z-z). Samim time dobili bi manje profile, odnosno bolju iskoristivost gornjeg pojasa.

6.1.5 DIMENZIONIRANJE DIJAGONALA (ISPUNA REŠETKE)

- POPREČNI PRESJEK



Slika 6.4 Poprečni presjek dijagonale

Maksimalne rezne sile

$N_{Ed} = 265{,}8\ kN\ (vlak)$

$N_{Ed} = -78{,}5\ kN\ (tlak)$

Karakteriskike poprečnog presjeka

Odabrani profil		MSH 82,5 x 3,6
Tip poprečnog presjeka		Valjani
Površina poprečnog presjeka A(cm^2)		8,92
Moment tromosti	$I_y(cm^4)$	69,6
	$I_z(cm^4)$	69,6
Moment otpora	$W_{el,y}(cm^3)$	16,9
	$W_{pl,y}(cm^3)$	22,4
	$W_{el,z}(cm^3)$	16,9
	$W_{pl,z}(cm^3)$	22,4
Radijus tromosti	$i_y(cm)$	2,8
	$i_z(cm)$	2,8

Konstanta krivljenja	$I_w(cm^6)$	11879
Torzijska konstanta	$I_t(cm^6)$	139,2
Sirina presjeka d (mm)		83
Debljina t (mm)		4

- Klasifikacija poprečnog presjeka
- $Materijal\ izrade$: $S355$ $\quad \varepsilon = 0{,}81$

$$d = h - 3 \cdot t = 83 - 3 \cdot 4 = 71\ mm$$

$$\frac{d}{t} = \frac{71}{3} = 23{,}6 < 33 \cdot \varepsilon = 26{,}7$$

Poprečni presjek → **klasa I**

- **Otpornost poprečnog presjeka**

Uzdužna sila $N_{Ed} = 265{,}8\ kN\ (vlak)$

$N_{c,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}9 \cdot 8{,}92 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 285kN > N_{Ed} = 265{,}8kN$ → zadovoljava

Uzdužna sila $N_{Ed} = -78{,}5\ kN\ (tlak)$

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8{,}92 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 316{,}6kN > N_{Ed} = 78{,}5kN$ → zadovoljava

- Otpornost elementa

Vrućevaljani šuplji profili→ krivulja izvijanja *a* → α = 0,21

-izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 252 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 69{,}6}{252^2} = 227{,}2kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8{,}92 \cdot 35{,}5}{227{,}2}} = 1{,}18$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (1{,}18 - 0{,}2) + 1{,}18^2] = 1{,}29$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{1{,}29 + \sqrt{1{,}29^2 - 1{,}18^2}} = 0{,}55$$

-izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,y}$ = 252 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 69,6}{252^2} = 227,2kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8,92 \cdot 35,5}{227,2}} = 1,18$$

$\Phi_y = 0,5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^{\ 2}\ ] = 0,5 \cdot [\ 1 + 0,21 \cdot (1,18-0,2) + 1,18^2] = 1,29$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\ 2} - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{1,29 + \sqrt{1,29^2 - 1,18^2}} = 0,55$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0,55 \cdot 8,92 \cdot 35,5}{1,0} = 174,1kN > N_{Ed} = 78,5kN$$

→ zadovoljava

Iskoristivost poprečnog presjeka

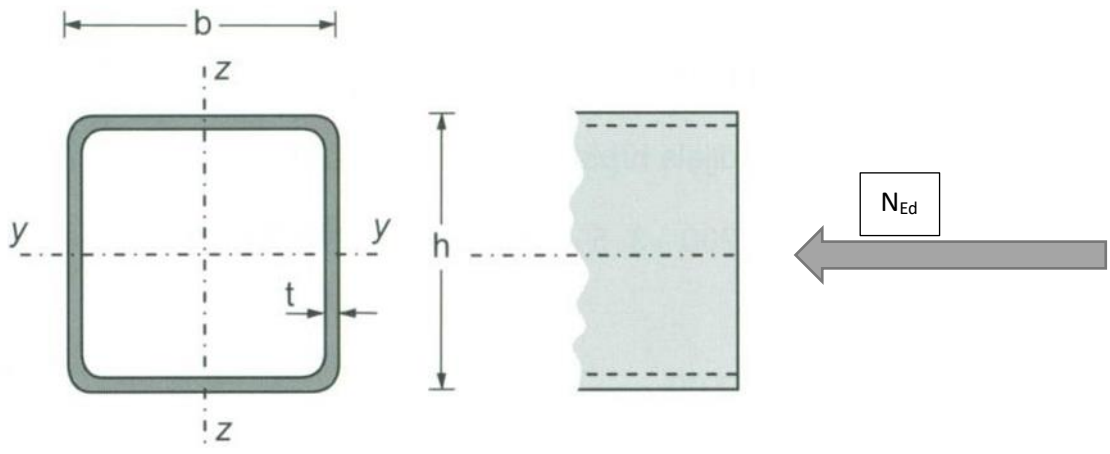
$\eta = \frac{78,5}{174,1} = 0,45$ → TLAK

$\eta = \frac{265,8}{285} = 0,93$ → VLAK

Profil MSH 82.5x3,6 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti η = 93%

6.1.6 DIMENZIONIRANJE VERTIKALA (ISPUNA REŠETKE)

- POPREČNI PRESJEK



Slika 6.511 Poprečni presjek vertikale

<u>Maksimalne rezne sile</u>

$N_{Ed} = 26{,}4\ kN\ (vlak)$

$N_{Ed} = -58{,}2\ kN\ (tlak)$

<u>Karakteriskike poprečnog presjeka</u>

Odabrani profil		MSH 82,5 x 3,6
Tip poprečnog presjeka		Valjani
Površina poprečnog presjeka A(cm^2)		8,92
Moment tromosti	$I_y(cm^4)$	69,6
	$I_z(cm^4)$	9,6
Moment otpora	$W_{el,y}(cm^3)$	16,9
	$W_{pl,y}(cm^3)$	22,4
	$W_{el,z}(cm^3)$	16,9
	$W_{pl,z}(cm^3)$	22,4
Radijus tromosti	$i_y(cm)$	2,8
	$i_z(cm)$	2,8
Konstanta krivljenja	$I_w(cm^6)$	11879
Torzijska konstanta	$I_t(cm^4)$	139,2

Sirina presjeka d (mm)	83
Debljina t (mm)	4

- Klasifikacija poprečnog presjeka
- $Materijal\ izrade$: $S355$ $\quad \varepsilon = 0{,}81$

$$d = h - 3 \cdot t = 83 - 3 \cdot 4 = 71\ mm$$

$$\frac{d}{t} = \frac{71}{3} = 23{,}6 < 33 \cdot \varepsilon = 26{,}73$$

Poprečni presjek → **klasa I**

- Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila $N_{Ed} = 26{,}4\ kN\ (vlak)$

$N_{c,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}9 \cdot 8{,}92 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 284{,}9\ kN > N_{Ed} = 26{,}4kN$ → zadovoljava

Uzdužna sila $N_{Ed} = -58{,}2\ kN\ (tlak)$

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8{,}92 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 316{,}6\ kN > N_{Ed} = 58{,}2kN$ → zadovoljava

- Otpornost elementa

Vrućevaljani šuplji profili→ krivulja izvijanja *a* → α = 0,21

-izvijanje oko osi y-y:

$L_{cr,y}$ = 122 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 69{,}6}{122^2} = 969{,}2kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8{,}92 \cdot 35{,}5}{969{,}2}} = 0.,57$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}57 - 0{,}2) + 0{,}57^2] = 0{,}7$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}^2_y}} = \frac{1}{0{,}7 + \sqrt{0{,}7^2 - 0{,}56^2}} = 0{,}8$$

-izvijanje oko osi z-z:

$L_{cr,z}$ = 122 cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 69{,}6}{122^2} = 969{,}2kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8{,}92 \cdot 35{,}5}{969{,}2}} = 0.57$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y^{\ 2}\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (0{,}57 - 0{,}2) + 0{,}57^2] = 0{,}7$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\ 2} - \bar{\lambda}^2{}_y}} = \frac{1}{0{,}7 + \sqrt{0{,}7^2 - 0{,}57^2}} = 0{,}8$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}8 \cdot 8{,}92 \cdot 35{,}5}{1{,}0} = 253{,}3kN > N_{Ed} = 58{,}2kN$$

→ zadovoljava

Iskoristivost poprečnog presjeka

$\eta = \frac{58{,}2}{253{,}3} = 0{,}23$ → TLAK

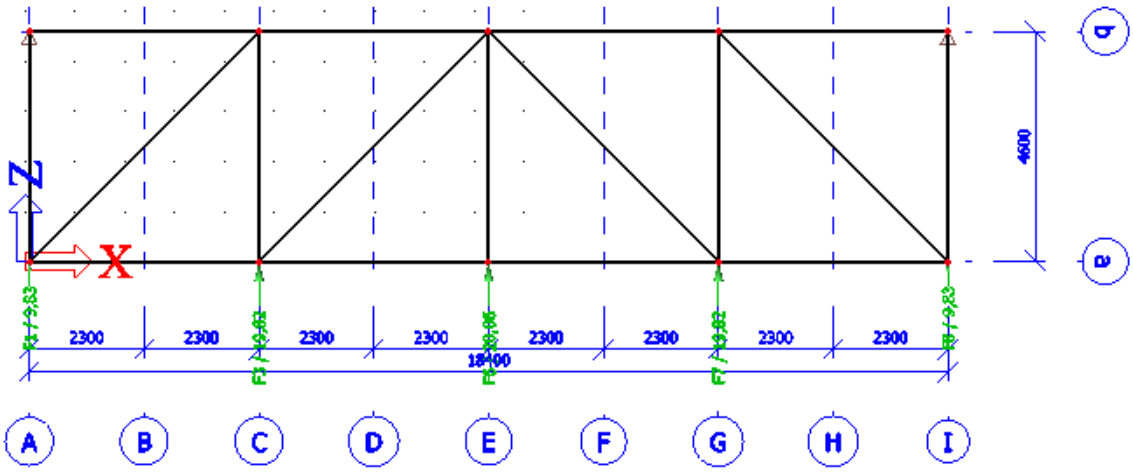
$\eta = \frac{26{,}4}{316{,}6} = 0.1$ → VLAK

Profil MSH 82,5x3,6 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti $\boldsymbol{\eta = 23\%}$**.**

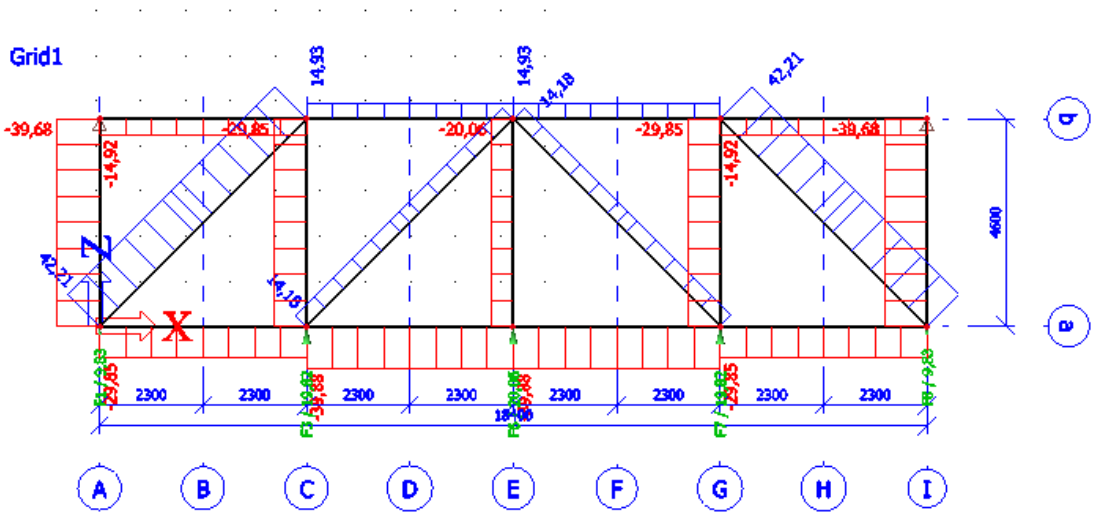
Napomena: Mala iskoristivost zbog odabranog istog P.P. za vertikale i dijagonale.

6.2 SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

6.2.1 DIMENZIONIRANJE KROVNIH SPREGOVA



Slika 6.6 Raspored krovnih spregova i opterećenje



Slika 6.7. Raspored krovnih spregova i dijagram uzdužnih sila

Maksimalna vlačna sila:
$N_{Sd} = 42{,}21\ kN$

$$N_{Sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} \quad \rightarrow \quad A \geq \frac{N_{Sd} \cdot \gamma_{Mo}}{f_y} = \frac{1.0 \cdot 20.32}{35.5} = 0{,}57\ cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \rightarrow \quad d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.57}{\pi}} = 0.85\ cm$$

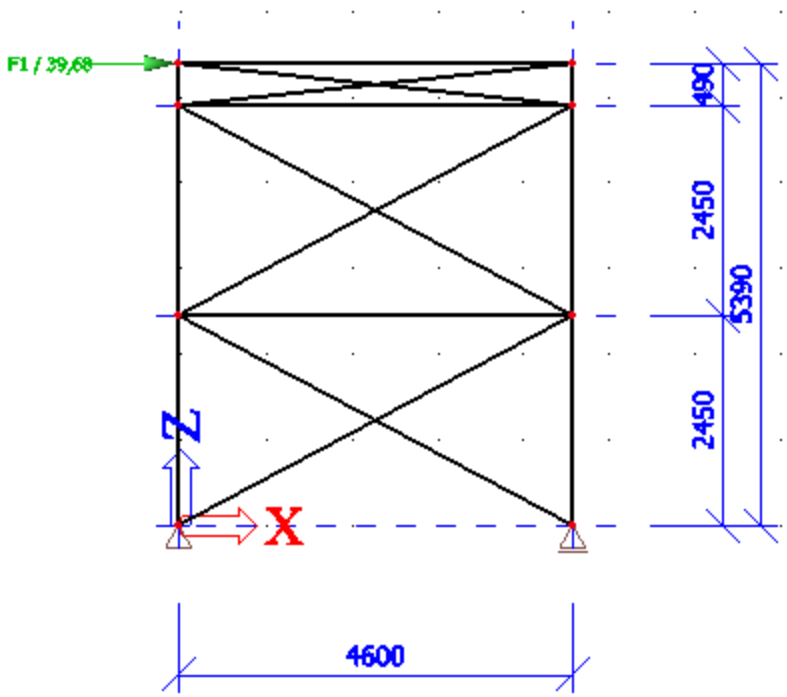
$d_{odabrano} = 14\ mm$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1.4^2 \cdot \pi}{4} = 1{,}54\ cm^2$$

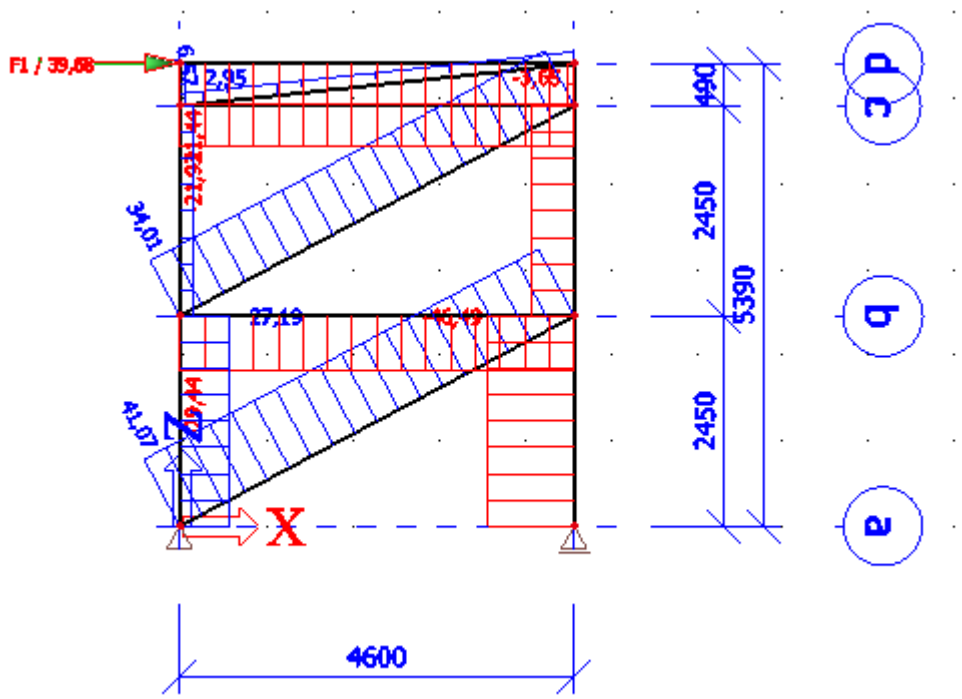
$$N_{Rd} = \frac{A\ \cdot\ f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1{,}54\ \cdot\ 35.5}{1.0} = 54{,}67\ kN\ \ >\ N_{Sd} = 42{,}21\ kN$$

Usvojeni profil **<u>Φ14 mm</u>**

6.2.2 DIMENZIONIRANJE BOČNIH SPREGOVA



Slika 6.7. Raspored bočnih spregova i opterećenje



Slika 6.8. Raspored bočnih spregova i opterećenje

Maksimalna vlačna sila:
$N_{Sd} = 41{,}07\ kN$

$$N_{Sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} \quad \rightarrow \quad A \geq \frac{N_{Sd} \cdot \gamma_{Mo}}{f_y} = \frac{1.0 \cdot 37.9}{35.5} = 1{,}067\ cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \rightarrow \quad d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}067}{\pi}} = 1.16\ cm$$

$d_{odabrano} = 14\ mm$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{1.4^2 \cdot \pi}{4} = 1.54\ cm^2$$

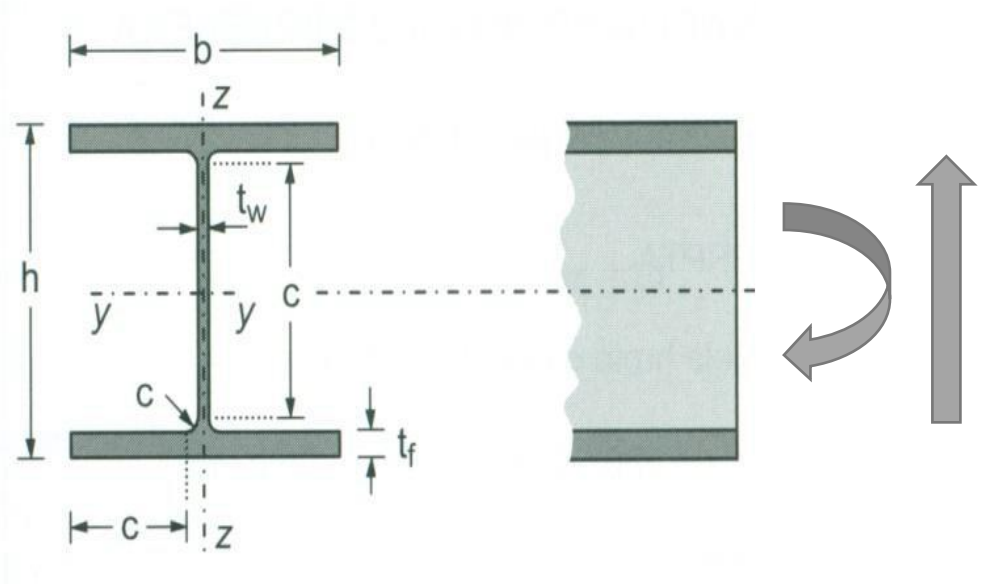
$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1.54 \cdot 35.5}{1.0} = 54{,}67\ kN \ > \ N_{Sd} = 41{,}07\ kN$$

Usvojeni profil **<u>Φ14 mm</u>**

Napomena: Za krovne i bočne spregove koristimo iste profile Ø14 zbog lakše izvedbe.

6.2.3 DIMENZIONIRANJE KROVNIH NOSAČA (PODROŽNICA)

POPREČNI PRESJEK



Slika 3712 Poprečni presjek podrožnice

<u>Maksimalne rezne sile</u>

$N_{Ed} = 39{,}68kN$
$M_{y,Ed}$=14,66 kNm
$M_{z,Ed}$=0,75 kNm
$V_{y,Ed}$=0.65 kNm
$V_{z,Ed}$=12,75 kNm

Odabrani profil		IPE 180
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A(cm^2)		23.9
Moment tromosti	$I_y(cm^4)$	1317
	$I_z(cm^4)$	101
Moment otpora	$W_{el,y}(cm^3)$	146
	$W_{pl,y}(cm^3)$	166
	$W_{el,z}(cm^3)$	222
	$W_{pl,z}(cm^3)$	34.6
Radijus tromosti	$i_y(cm)$	7.4

	$i_z(cm)$	2.1
Konstanta krivljenja	$I_w(cm^6)$	7430
Torzijska konstanta	$I_t(cm^4)$	4.79
Visina presjeka h (mm)		180
Širina pojasnice b (mm)		91
Debljina pojasnice t_f (mm)		8
Debljina hrpta t_w (mm)		5
Radijus r (mm)		9

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$Materijal\ izrade:\ \ S355 \quad \varepsilon = 0{,}81$$

- Hrbat

Uvjet za klasu presjeka I:

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2\ \cdot\ t_f - 2\ \cdot\ r}{t_w} = \frac{146\ mm}{5\ mm} = 29.2$$

$$\frac{d}{t_w} = 29.2 > 33 \cdot \varepsilon = 26{,}73$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = 29.2 < 38 \cdot \varepsilon = 30{,}78$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot\ t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mo}}} = \frac{39{,}68}{2 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{35{,}5}{1.0}} = 1{,}12\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} +\ a\right) = \frac{1}{14.6} \cdot \left(\frac{14.6}{2} + 1.12\right) = 0.57$$

$$\alpha = 0{,}57\ \rightarrow\ \alpha > 0.5$$

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

$$\frac{d}{t_w} = 29.2\ < 396\ \cdot\ \frac{456\varepsilon}{13\ \cdot\ \alpha - 1} = 57.62 \quad \rightarrow zadovoljava!$$

$$Hrbat\ zadovoljava\ uvjet\ te\ je\ svrstan\ u\ \boldsymbol{klasu\ II}.$$

- Pojasnica

Uvjet za klasu presjeka I:

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{34\ mm}{8\ mm} = 4.25$$

$$\frac{c}{t_f} = 4.25 < 9 \cdot \varepsilon = 7{,}29 \qquad Pojasnica\ zadovoljava\ uvjet\ te\ je\ svrstana\ u\ \boldsymbol{klasu\ I}.$$

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu II.

Otpornost poprečnog presjeka

<u>- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku</u>

$$N_{C,Rd} = \frac{A\ \cdot\ f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{23.9\ \cdot\ 35{,}5}{1.0} = 848{,}45\ kN$$

Uvjet nosivosti:

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

$$39.68\ kN < 848{,}45\ kN\ \rightarrow zadovoljava!$$

<u>- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju</u>

<u>- savijanje oko y-y</u>

$$M_{Y,Rd} = \frac{W_{pl,y}\ \cdot\ f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{166\ \cdot\ 35{,}5}{1.0} = 58{,}93\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Y,Rd} \leq M_{C,Rd}$$

$$14{,}66\ kNm < 58{,}93\ kNm\ \rightarrow zadovoljava!$$

- savijanje oko z-z

$$M_{Z,Rd} = \frac{W_{pl,z}\ \cdot\ f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{34.6\ \cdot\ 35{,}5}{1.0} = 12{,}28\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Z,Rd} \leq M_{C,Rd}$$

$$0.75\ kNm < 12{,}28\ kNm\ \rightarrow zadovoljava!$$

<u>- Posmična otpornost poprečnog presjeka</u>

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{180 - 2 \cdot 8}{5} = 32.8$$

$$32.8 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}2} = 48{,}6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

- u smjeru osi z-z

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

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

$A_{v,z} = 23.9 - 2 \cdot 9.1 \cdot 0.8 + (0.5 + 2 \cdot 0.9) \cdot 0.8 = 11.18\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 16.4 \cdot 0.5 = 9.84\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{11.18 \cdot (35{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 229{,}14 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 229{,}14kN > V_{z,Ed} = 12{,}75kN$$

- u smjeru osi y-y

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

$$A_{v,y} = A - \Sigma\, h_w \cdot t_w = 16{,}2 - 1 \cdot 0{,}5 = 15{,}7 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{15.7 \cdot (35{,}5/\sqrt{3})}{1{,}0} = 321{,}78 \text{ kN}$$

$$V_{pl,y,Rd} = 321{,}78kN > V_{Y,Ed} = 0..65kN$$

<u>- Interakcija M - V - N</u>

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} \leq 1.0$$

$$\alpha = 2 \quad \beta = 5 \cdot n \geq 1.0$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{39{,}68}{848{,}45} = 0.046 \rightarrow \beta = 1.0$$

- savijanje u smjeru osi y-y

$$0.5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0.5 * 229{,}14 = 114{,}57\ kN$$

$$V_{z,Ed} = 12{,}75\ kN < 114{,}57\ kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl,,Rd}$$

$$39{,}68\ kN \leq 0.25 \cdot 848{,}45\ kN = 212{,}1 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava!}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}}$$

$$39{,}68\ kN \leq \frac{0.5 \cdot 13.4 \cdot 0.6 \cdot 35.5}{1.0} = 142{,}71\ kN \rightarrow zadovoljava!$$

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

- savijanje u smjeru osi z-z

$$0.5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0.5 \cdot 321{,}78 = 160{,}8\ kN$$

$$V_{y,Ed} = 0.65\ kN < 160{,}8\ kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 39.10\ kNm$$

$$M_{N,V,z,Rd} = M_{C,z,Rd} = 8.12\ kNm$$

$$\left(\frac{14{,}66}{58{,}93}\right)^2 + \left(\frac{0.75}{12{,}28}\right)^1 = 0.122 \leq 1.0$$

Profil **IPE 180** zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa izloženog momentu savijanja i uzdužnoj sili

<u>- Uzdužna tlačna otpornost</u>

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \qquad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \leq 1{,}0$$

$\Phi = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha\cdot(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2\ ]$ $\qquad \bar{\lambda} = \sqrt{\dfrac{A\cdot f_y}{N_{cr}}}$ $\qquad N_{cr} = \dfrac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2{}_{cr}}$

-os y-y

$L_{cr,y} = 460$ cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2{}_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1317}{460^2} = 1289{,}9kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A\cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{23.9\cdot 35.5}{1289{,}9}} = 0.89$$

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.98 > 1.2 \qquad t_f = 8\ mm\ < 40\ mm$$

$$-za\ os\ y-y \quad krivulja\ izvijanja\ \boldsymbol{a}\ \rightarrow\ \boldsymbol{\alpha = 0{,}21}$$

$\Phi_y = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha\cdot(\bar{\lambda}_y - 0{,}2) + \bar{\lambda}_y{}^2\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21\cdot(0.89\text{-}0{,}2) + 0.89^2] = 0.96$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \bar{\lambda}^2{}_y}} = \frac{1}{0.96 + \sqrt{0.96^2 - 0.89^2}} = 0{,}76$$

-os z-z

$L_{cr,z} = 460$ cm

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L^2{}_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{460^2} = 98{,}93kN$$

$$\bar{\lambda}z = \sqrt{\frac{A\cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{23.9\cdot 35.5}{98{,}93}} = 2{,}93$$

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.98 > 1.2 \qquad t_f = 8\ mm\ < 40\ mm$$

$$-za\ os\ z-z \quad krivulja\ izvijanja\ \boldsymbol{b}\ \rightarrow\ \boldsymbol{\alpha = 0{,}34}$$

$\Phi_z = 0{,}5 \cdot [\ 1 + \alpha\cdot(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\ ] = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}34\cdot(2.93\text{-}0{,}2) + 2.93^2] = 5{,}25$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z{}^2 - \bar{\lambda}^2{}_z}} = \frac{1}{5{,}25 + \sqrt{5{,}25^2 - 2{,}93^2}} = 0{,}11$$

Mjerodavna je manja vrijednost, χ_z =0.11

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

$$N_{b,Rd} = \frac{0{,}104 \cdot 23.9 \cdot 35.5}{1{,}0} = 88{,}24kN > N_{Ed} = 39{,}68kN$$

<u>- Otpornost elementa na savijanje</u>

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L = 460 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$z_g = \dfrac{h}{2} = \dfrac{18}{2} = 9cm$ $\qquad G = \dfrac{E}{2\cdot(1+\nu)} = \dfrac{21000}{2\cdot(1+0{,}3)} = 8077kN/cm^2$

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

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

M_{cr} =1,127· $\frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{(1{,}0 \cdot 460)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(1{,}0 \cdot 460)^2 \cdot 8077 \cdot 4.79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101} + (0.454 \cdot 7.6)^2}$ -
-0.454·9] = 6592,29 kNcm= 65,92 kNm

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y}$ = 166.0 cm^3

$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{166 \cdot 35{,}5}{2115.8}} = 1.67 > \overline{\lambda}_{LT,0}$ = 0,4

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.97 < 2$ $\rightarrow$ *mjerodavna krivulja izvijanja* $\boldsymbol{a}$

$\alpha_{LT} = 0.21$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (1.67 - 0{,}2) + 1.67^2] = 2{,}05$

$\chi_{LT} = \frac{1}{2{,}05 + \sqrt{2{,}05^2 - 1{,}67^2}}$ = 0,41 < 1,0

$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}31 \cdot 166 \cdot 35.5}{1{,}0}$ = 1826,83 kNcm = 18,26 kNm

$M_{b,Rd}$ = 18,26 kNm > $M_{y,Ed}$ = 14,66 kNm $\rightarrow$ *zadovoljava*!

<u>- Interakcija M - N</u>

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0$$

Interakcijski faktori za klase 1 i 2:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\overline{\lambda_y} - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq C_{my} \cdot \left[1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right]$$

$$k_{yz} = 0.6 \cdot k_{zz}$$

Za $\overline{\lambda_z}$=1.36 > 0.4

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot \overline{\lambda_z}}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \geq \left[1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right]$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[1 + (2 \cdot \overline{\lambda_z} - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right] \leq C_{mz} \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right]$$

Određivanje C_{mi}:

$$C_{my} = 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h$$

$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \qquad \psi = 0 \quad \rightarrow C_{mz} = 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h$

$C_{mLT} = 0.95 + 0.05 \cdot \alpha_h$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0.95$$

$$k_{yy} = 0.95 \cdot \left[1 + (0.89 - 0.2) \cdot \frac{39{,}68}{0.76 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}}\right] \leq 0.95 \cdot \left[1 + 0.8 \cdot \frac{39{,}68}{0.76 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}}\right]$$

$$k_{yy} = 0.99 \leq 0.996 \quad \rightarrow k_{yy} = 0.99$$

$$k_{zz} = 0.95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2{,}93 - 0.6) \cdot \frac{39{,}68}{0.104 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}}\right] \leq 0.95 \cdot \left[1 + 1.4 \cdot \frac{39.68}{0.104 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}}\right]$$

$$k_{ZZ} = 1{,}54 \leq 3{,}19 \quad \rightarrow k_{zz} = 1.54$$

$$k_{yz} = 0.6 \cdot k_{zz} = 0.6 \cdot 1.54 = 0.924$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot 2.93}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{39{,}68}{0.104 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}}\right] \geq \left[1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{39{,}68}{0.104 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}}\right]$$

$$k_{ZY} = 0.935 \geq 0.811 \quad \rightarrow k_{yy} = 0.811$$

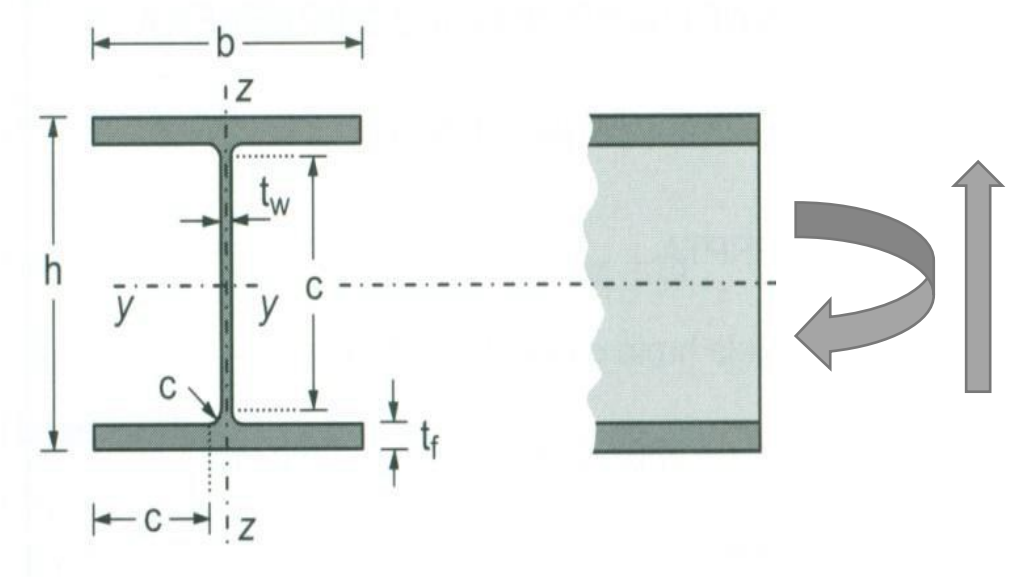
$$\frac{39{,}68}{0.76 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}} + 0.99 \cdot \frac{14{,}66}{0.41 \cdot \frac{58{,}93}{1.0}} + 0.924 \cdot \frac{0.75}{\frac{12{,}28}{1.0}} = 0.72 \leq 1.0$$

$$\frac{39.68}{0.11 \cdot \frac{848{,}45}{1.0}} + 0{,}81 \cdot \frac{14{,}66}{0.41 \cdot \frac{58{,}93}{1.0}} + 1.44 \cdot \frac{0.75}{\frac{12{,}28}{1.0}} = 0{,}98 \leq 1.0$$

Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti: $\boldsymbol{\eta = 98}$ %

6.2.4. DIMENZIONIRANJE BOČNIH NOSAČA (PODROŽNICA)

POPREČNI PRESJEK



Slika 38 Poprečni presjek bočnog nosača

<u>Maksimalne rezne sile</u>

$V_{Ed} = 10{,}7kN$
M_{Ed}=12,3 kNm

Odabrani profil		IPE 180
Tip poprečnog presjeka		
Površina poprečnog presjeka A(cm^2)		23.9
Moment tromosti	$I_y(cm^4)$	1317
	$I_z(cm^4)$	101
Moment otpora	$W_{el,y}(cm^3)$	146
	$W_{pl,y}(cm^3)$	166
	$W_{el,z}(cm^3)$	222
	$W_{pl,z}(cm^3)$	34.6
Radijus tromosti	$i_y(cm)$	7.4
	$i_z(cm)$	2.1
Konstanta krivljenja	$I_w(cm^6)$	7430
Torzijska konstanta	$I_t(cm^4)$	4.79

Visina presjeka h (mm)	180
Širina pojasnice b (mm)	91
Debljina pojasnice t_f (mm)	8
Debljina hrpta t_w (mm)	5
Radijus r (mm)	9

Klasifikacija poprečnog presjeka

$$Materijal\ izrade:\ \ S355 \quad \varepsilon = 0{,}81$$

- Hrbat

Uvjet za klasu presjeka I:

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2\ \cdot\ t_f - 2\ \cdot\ r}{t_w} = \frac{146\ mm}{5\ mm} = 29.2$$

$$\frac{d}{t_w} = 29.2\ < 33 \cdot \varepsilon = 26{,}73$$

$$\frac{d}{t_w} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = 29.2 < 38 \cdot \varepsilon = 30{,}78$$

$$Hrbat\ zadovoljava\ uvjet\ te\ je\ svrstan\ u\ \boldsymbol{klasu\ II}.$$

- Pojasnica

Uvjet za klasu presjeka I:

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

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{34\ mm}{8mm} = 4.25$$

$$\frac{c}{t_f} = 4.25\ < 9 \cdot \varepsilon = 7{,}29 \qquad Pojasnica\ zadovoljava\ uvjet\ te\ je\ svrstana\ u\ \boldsymbol{klasu\ I}.$$

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u **klasu II**.

Otpornost poprečnog presjeka

<u>- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju</u>

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{166 \cdot 35.5}{1.0} = 58{,}93\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Y,Ed} \leq M_{C,Rd}$$
$$12{,}3\ kNm < 58{,}93\ kNm \rightarrow zadovoljava!$$

<u>- Posmična otpornost poprečnog presjeka</u>

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{180 - 2 \cdot 8}{5} = 32.8$$

$$32.8 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}2} = 48{,}6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

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

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

$A_{v,z} = 23.9 - 2 \cdot 9.1 \cdot 0.8 + (0.5 + 2 \cdot 0.9) \cdot 0.8 = 11.18\ cm^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1{,}2 \cdot 16.4 \cdot 0.5 = 9.89\ cm^2$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{11.18 \cdot (35{,}5 / \sqrt{3})}{1.0} = 229{,}14\ kN$$

$$V_{pl,z,Rd} = 229{,}14 kN > V_{z,Ed} = 10{,}7 kN$$

<u>- Interakcija M - V</u>

-presjek u L/4

$$0.5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0.5 \cdot 229{,}14 = 114{,}57 kN$$
$$V_{z,Ed} = 6{,}42\ kN < 114{,}57\ kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

$$M_{V,y,Rd} = M_{C,y,Rd} = 58{,}93\ kNm$$
$$\frac{M_{Y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{12{,}3 kNm}{58{,}93\ kNm} = 0.21 < 1.0$$

Profil IPE 180 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa na savijanje

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

L =460 cm → razmak nultočaka momentnog dijagrama

$z_g = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 9.0 cm$ $\qquad$ $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0{,}3)} = 8077 kN / cm^2$

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

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

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101}{(1{,}0 \cdot 460)^2} \cdot [\sqrt{(\frac{1{,}0}{1{,}0})^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(1{,}0 \cdot 460)^2 \cdot 7430 \cdot 4.79}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 101} + (0.454 \cdot 9.0)^2} -$$

$-0.454 \cdot 9.0] = 1909{,}49$ kNcm= 19,1 kNm

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

Za klasu 1 i 2 vrijedi: $W_y = W_{pl,y} = 166\ cm^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{166 \cdot 35{,}5}{1909{,}45}} = 1{,}75 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0{,}4$$

Faktor redukcije – opći slučaj:

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

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

Za valjani I profil, bočno izvijanje uslijed momenta izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{120}{64} = 1.85 < 2 \qquad \rightarrow mjerodavna\ krivulja\ izvijanja\ \boldsymbol{a}$$

$$\alpha_{LT} = 0.21$$

$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot [\ 1 + 0{,}21 \cdot (1.75 - 0{,}2) + 1.75^2] = 2{,}19$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{2{,}19 + \sqrt{2{,}19^2 - 1.75^2}} = 0{,}28 < 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}28 \cdot 166 \cdot 35.5}{1.0} = 1650{,}04\text{kNcm} = 16{,}5\ \text{kNm}$$

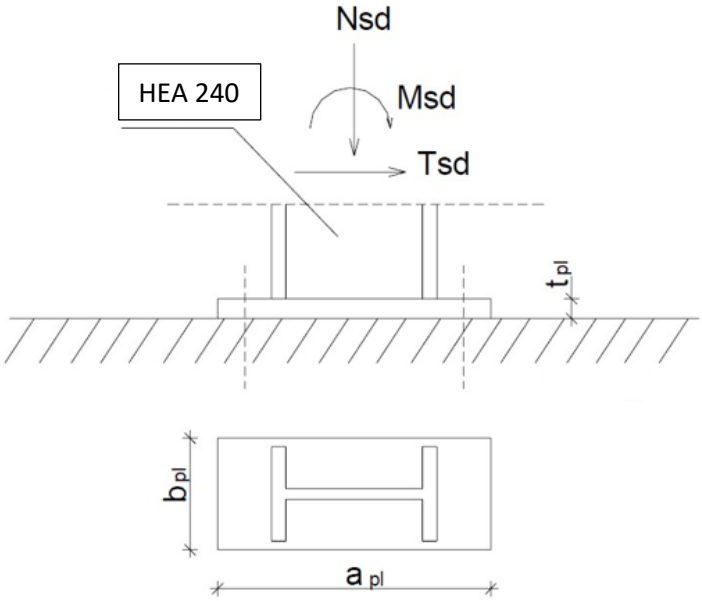
$M_{b,Rd} = 16{,}5$ kNm > $M_{y,Ed} = 12{,}3$ kNm $\rightarrow zadovoljava!$

Profil **IPE 180** zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa, s iskoristivosti**:** $\boldsymbol{\eta = 75\%}$**.**

7 DIMENZIONIRANJE SPOJEVA

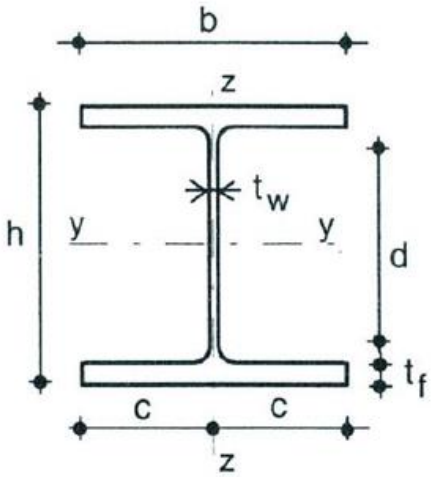
7.1 SPOJ STUP-TEMELJ

Ulazni podaci



Slika 6.9 Detalj spoja stup-temelj

Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:
N_{Ed} = 93,1 kN (tlak)
M_{Ed} = 81,9 kNm
V_{Ed} = 28,5 kN

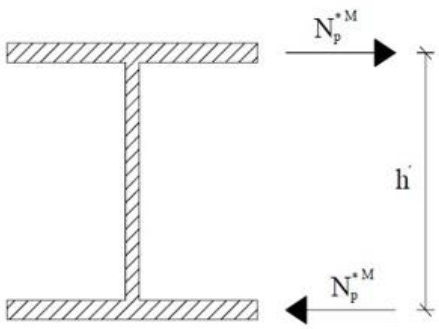


Slika 7.0 Osnovni prikaz I profila

Materijal:
Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 8.8

Poprečni presjek:
Profil: HEA 240
h= 230 mm
b= 240 mm
t_w= 8 mm
t_f= 12 mm

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja:



Slika 7.1 Djelovanje sila na pojasnice

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{82,0}{(0.23-0.008)} = 369,3kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = -\frac{24 \cdot 1,2}{76,8} \cdot 93,1 = 35,6kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 369,3 - 35,6kN = 333,7kN = F_{w,sd}$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice:

$$l_1 = 2 \cdot 240 = 480mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot 206 = 412mm$$

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

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 8 = 5,6mm$$

Za pretpostavljeni var a=5,0mm

Uzdužna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{480}{100} = 628,2kN > F_{w,sd} = 333,7kN$$

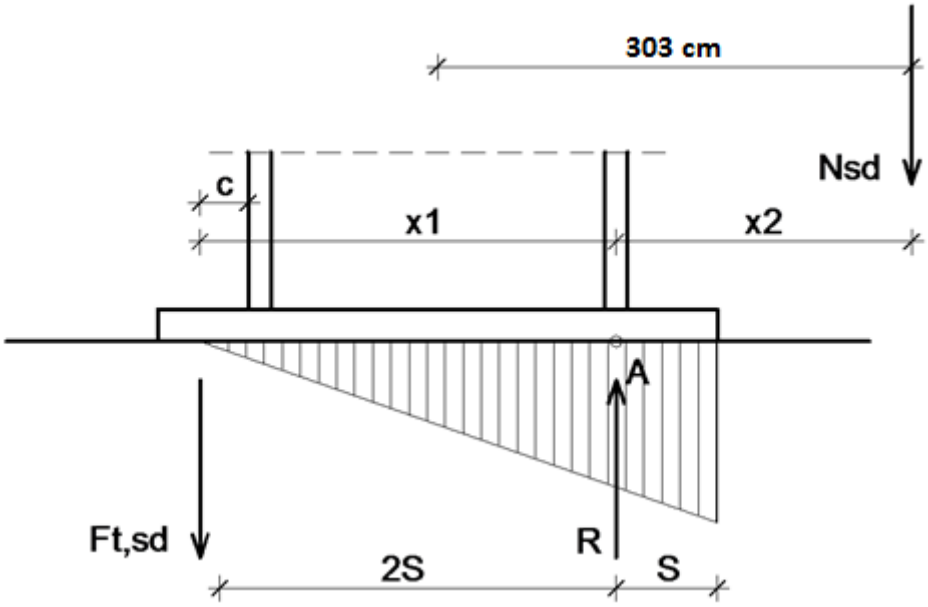
6.

Poprečna sila:

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{163,6}{1.25} \cdot \frac{412}{100} = 539,2kN > V_{Ed} = 28,6kN$$

7.

Proračun vijaka:



Slika 6.1.2. Prikaz ekscentriciteta

Pretpostavljeni vijak

M 24 ; k.v. 8.8

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 24 + 5\sqrt{2} = 55{,}1mm$$

Usvojeni c = 60 mm.

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{82{,}0}{93{,}1} = 0{,}88m$$

Ekscentricitet $x_1 = 60 + 230 - 6 = 284mm = 0.284m$

Ekscentricitet $x_2 = 880 - \frac{230}{2} + 6 = 771mm$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{93{,}1 \cdot 0{,}77}{0{,}28} = 256kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{254{,}2}{1.25} = 203{,}4kN > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{256}{2} = 128kN$$

8.

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{169,4}{1.25} = 135,5kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{28,6}{4} = 7,15kN$$

9. Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1.0 \Rightarrow \frac{128}{1.4 \cdot 203,4} + \frac{7,15}{135,5} = 0.5 < 1.0$$

Proračun dimenzija ploče:

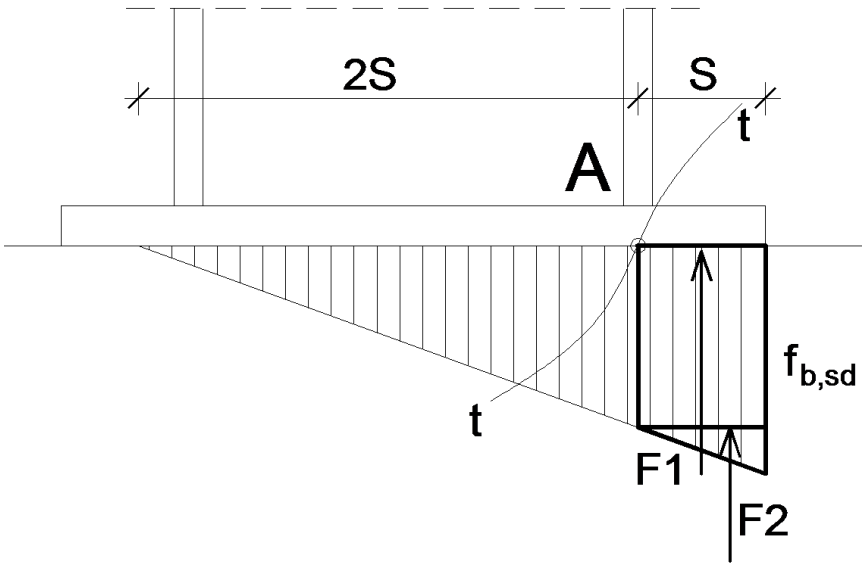
<u>Proračun širine i dužine ploče</u>

$$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 230 + 2 \cdot (60 + 60) = 470mm$$

$$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 80 + 2 \cdot 50 = 240mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 500x280mm

<u>Proračun debljine ploče</u>



Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{4} = 7,15\,\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{7,12 \cdot 1,25 \cdot 10}{235,4} = 0,37\,\text{mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$S = (500 - 230 + 12)/2 = 141mm = 14{,}1cm$$
$$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 256 + 93{,}1 = 349{,}1kN$$

Naprezanje na betonu:

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{349{,}1}{\frac{3 \cdot 14{,}1 \cdot 28}{2}} = 0{,}58kN/cm^2 \le \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.5}{1.5} = 1.66kN/cm^2$$

Savijanje ploče:

$$M_{sd} = F_1 \cdot \frac{S}{2} + F_2 \cdot \frac{3 \cdot S}{2} = \frac{2}{3} f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl} \cdot \frac{S}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{B,sd} \cdot S \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot S =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 5800 \cdot 0.141 \cdot 0.28 \cdot \frac{0.141}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 5800 \cdot 0.141 \cdot 0.28}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.141 = 14{,}3kNm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 1430 \cdot 6}{28 \cdot 35.5}} = 3{,}08cm$$

10. $t_{pl} = 3{,}1cm$

Usvojene dimenzije ploče su 500x280x31 mm.

7.2 SPOJ STUP-REŠETKA

<u>Ulazni podaci</u>

<u>Veličine djelovanja dobivene su za kombinaciju (vjetar W1+vlastita težina+stalni teret) :</u>

$$V_{Ed} = 7{,}75\ kN$$
$$N_{Ed} = 27{,}07\ kN\ (vlak)$$

<u>Materijal:</u>

Osnovni materijal: S355
Vijci: k.v. 4.6

Poprečni presjek:

Profil: HEA 240
h =230 mm
b =240 mm
t_w =8 mm
t_f =12 mm

Profil: MSH 140X140X10
h=140 mm
b=140 mm
t=10mm

Kontrola varova
Profil HEA 240
-Duljina vara
l= 2*(230-2*12)= 412 mm

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

$$a_{max} = 0,7 \times t_{min} = 0,7 \times 8 = 5,6mm$$

Za usvojenu debljinu vara a = 4 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \times \frac{412}{100} = 431,4\ kN > F_{w,Ed} = 8,2\ kN$$

Profil 140x140x10
Duljina vara :

$$l = 2*140 = 280\ mm$$

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu elementa:

$$a_{max} = 0,7 \times t_{min} = 0,7 \times 10 = 7mm$$

Za pretpostavljeni var 4,0 mm:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{130,9}{1,25} \times \frac{140}{100} = 146,6\ kN \quad > \quad F_{w,sd} = 8,2\ kN$$

Proračun vijaka
Uz pretpostavku vijaka M12
Profil HEA 240

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 4\sqrt{2} = 29,65mm$$

Profil 140x140x10

$$c_{min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 12 + 4\sqrt{2} = 29,65mm$$

Odabrano: c=30mm
Otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{20,2}{1.25} = 16,16kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{2} = \frac{8,2}{2} = 4,1kN$$

Otpornost vijka na vlak:

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{30,3}{1.25} = 24,2kN > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{31,8}{2} = 15,9kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4 \cdot F_{t,rd}} + \frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}} \leq 1.0 \Rightarrow \frac{15,9}{1.4 \cdot 24,2} + \frac{4.1}{16,1} = 0,73 < 1.0$$

<u>Proračun dimenzija ploče</u>

Proračun duljine i širine ploče:

$$a_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 240 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 251,3mm$$

Odabrane dimenzije duljine i širine ploče su 270x270mm.

<u>Proračun debljine ploče</u>

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{2} = 4.1\,\text{kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

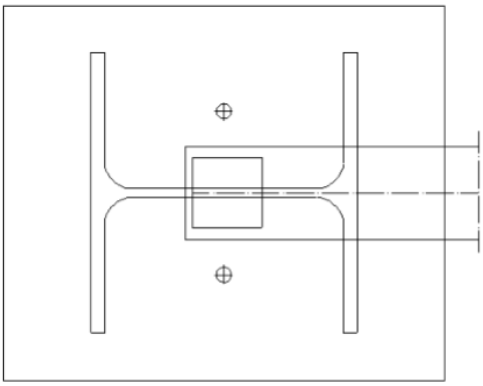
$$t^{pl} > \frac{4.1 \cdot 1,25 \cdot 10}{117,7} = 0,43\text{mm}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c = 31,8 \cdot 0,030 = 0,9kNm$$

$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 90 \cdot 6}{27 \cdot 35,5}} = 0,78cm = 7,8mm \Rightarrow t_{pl} = 10mm$$

Usvojene dimenzije ploče su 270x270x10 mm.



Slika 7.3 Skica spoja stup rešetka

7.3 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE - DONJI POJAS

Ulazni podaci

Veličine djelovanja:
N_{sd} = 361,8 kN (vlak)

Materijal:
Osnovni materijal: S355

Poprečni presjek:
Profil: 140x140x10
h = 140 mm
b = 140 mm
t = 10 mm

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:
$a_{max} = 0.7*t_{min} = 0.7*10 = 7$ mm

odabrano a = 4 mm

Otpornost vara:

L_w = O = 4x140= 560 mm
*Dodane su ukrute spoja kako bi povećali duljinu vara i time povećali otpornost na uzdužnu silu.

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M,w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{130,9}{1,25} \cdot \frac{560}{100} = 586,4kN > N_{Ed} = 361,8kN$$

Proračun vijaka:

Pretpostavka: vijci M 16 k.v. 10.9
n = 4 vijka

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1.25} = 113,04kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{361,8}{4} = 90,4 \leq F_{t,Rd} = 113,04$$

Proračun ploče:

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4 \cdot \sqrt{2} = 37,6mm$$

$$b_{pl,\min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 40 + 55 = 135mm$$

$$b_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 140 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 = 171{,}3mm$$
$$h_{pl}^{\min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 140 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} + 20 = 171{,}3mm$$

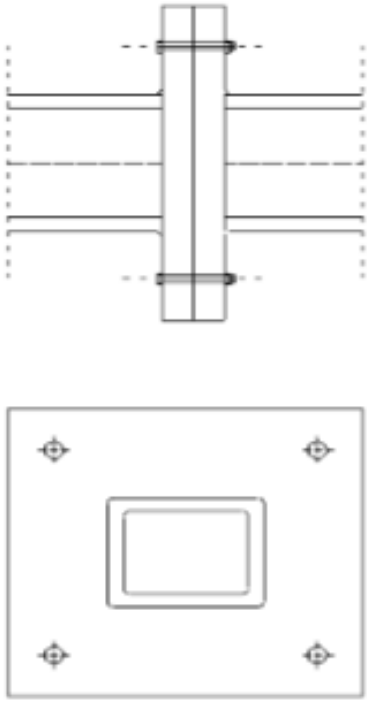
Odabrane dimenzije ploče su 280x280 mm, zbog zahtjeva vijaka.

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

e = 25 mm
b_{pl} = 280 mm
$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 90{,}4 \cdot 0{,}025 = 4{,}52kNm$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W = \frac{1.1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t^2{}_{pl}{}^{\min}}{6}$$
$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 452 \cdot 6}{28 \cdot 35{,}5}} = 1{,}73cm$$

Odabrane dimenzije ploče su 280 x 280 x 25 mm.



Slika 7.3 Skica spoja vlačnog nastavka rešetke

8 PRORAČUN TEMELJA

Osnovni podaci o temelju

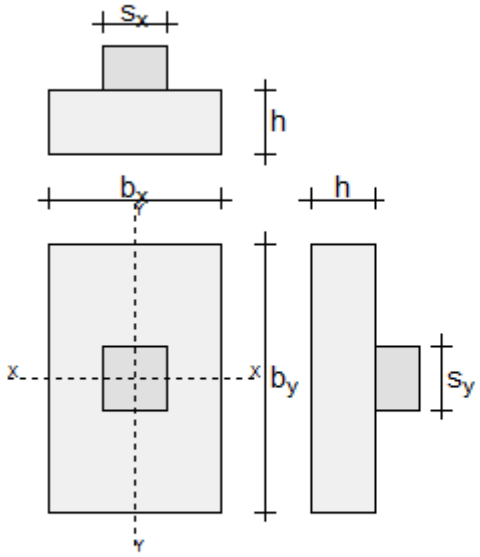
$N = -93{,}10$ kN (tlak)
$T_x = 27{,}60$ kN
$M_y = 81{,}90$ kN

MB-25
$f_B = 1{,}72$ kN/cm^2

RA 400/500
$\sigma_{Vl} = 40$ kN/cm^2

$\sigma_{tla,\ dop.} = 300{,}00$ kN/m^2

$b_x = 160{,}0$ cm
$b_y = 250{,}0$ cm
$h = 60{,}0$ cm
$s_x = 60{,}0$ cm
$s_y = 60{,}0$ cm
$L_x = 0{,}0$ cm
$L_y = 0{,}0$ cm



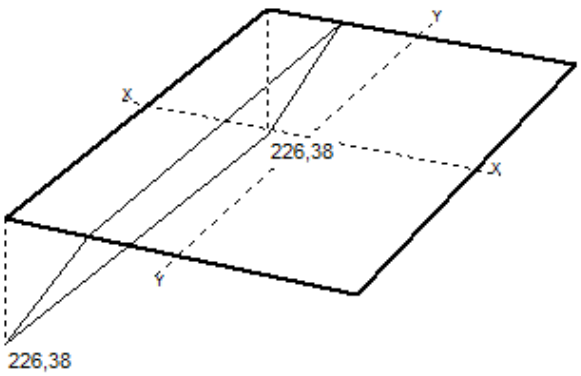
Proračun temelja

$A = 4{,}00$ m^2
$W_x = 1{,}67$ m^3
$W_y = 1{,}07$ m^3

$e_x = -87{,}97$ cm
$e_y = 0{,}00$ cm

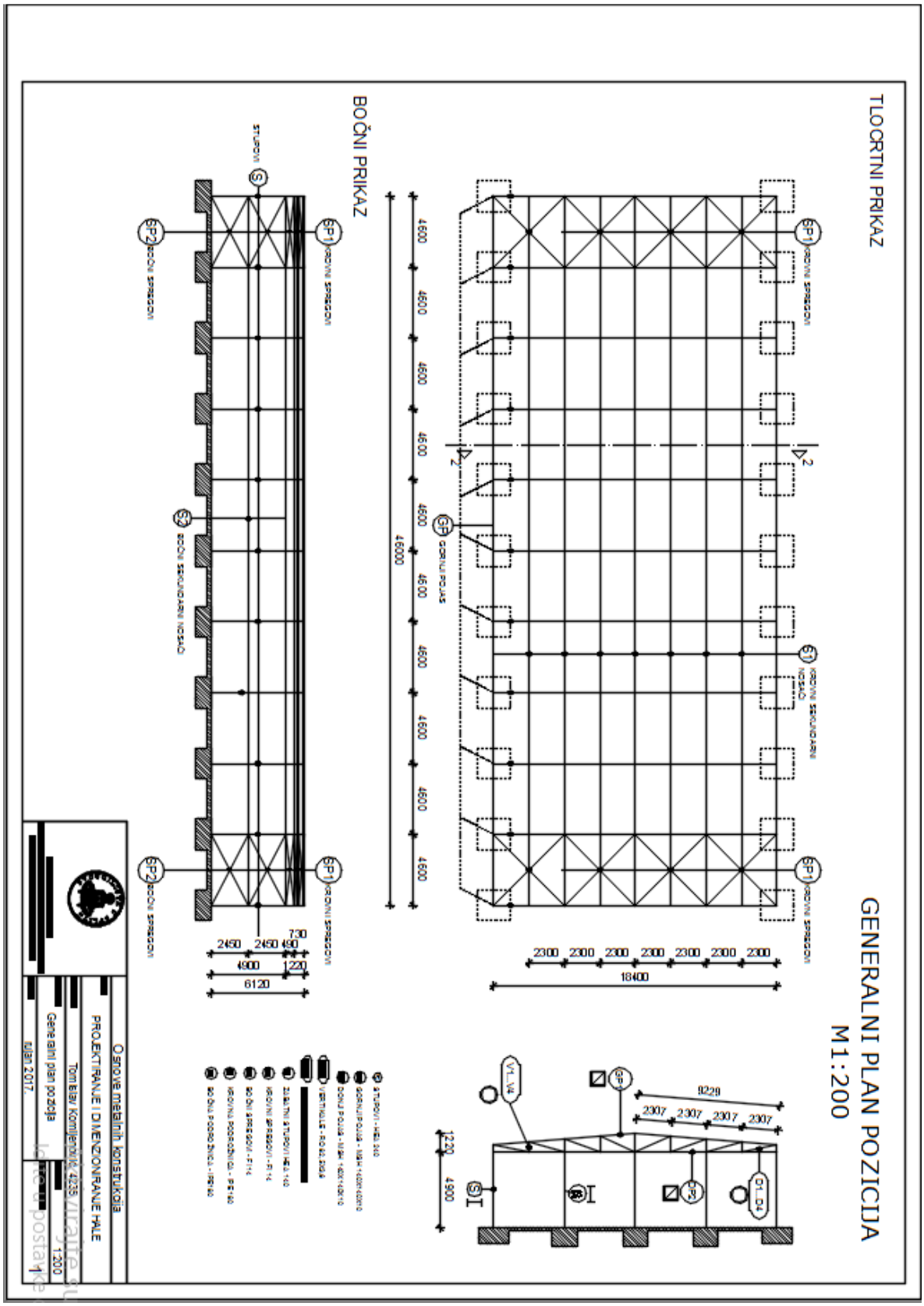
$\sigma_2 = 226{,}38$ kN/m^2
$\sigma_3 = 226{,}38$ kN/m^2

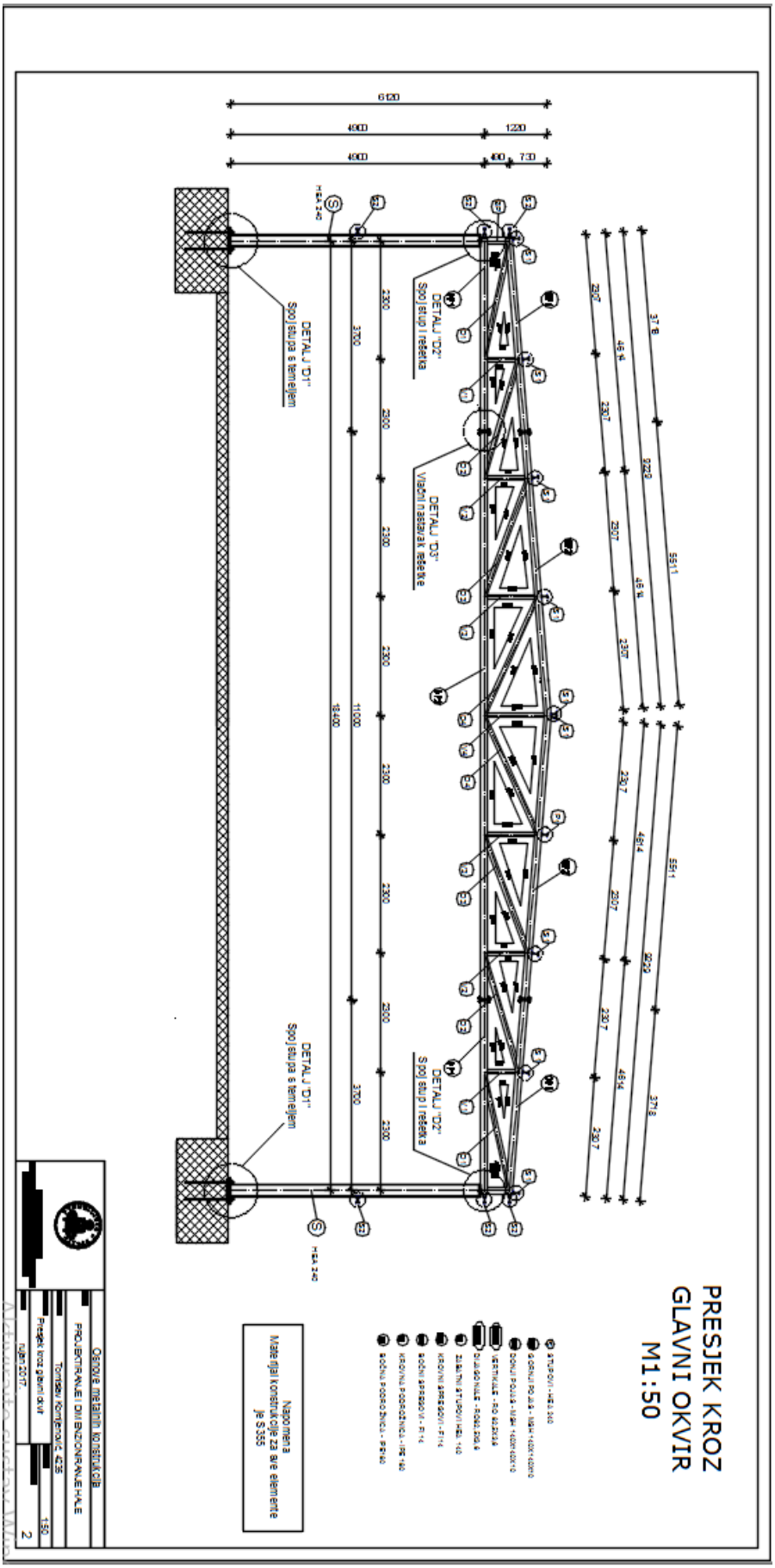
$A_{a,x} = 13{,}65$ cm^2
$A_{a,y} = 5{,}25$ cm^2

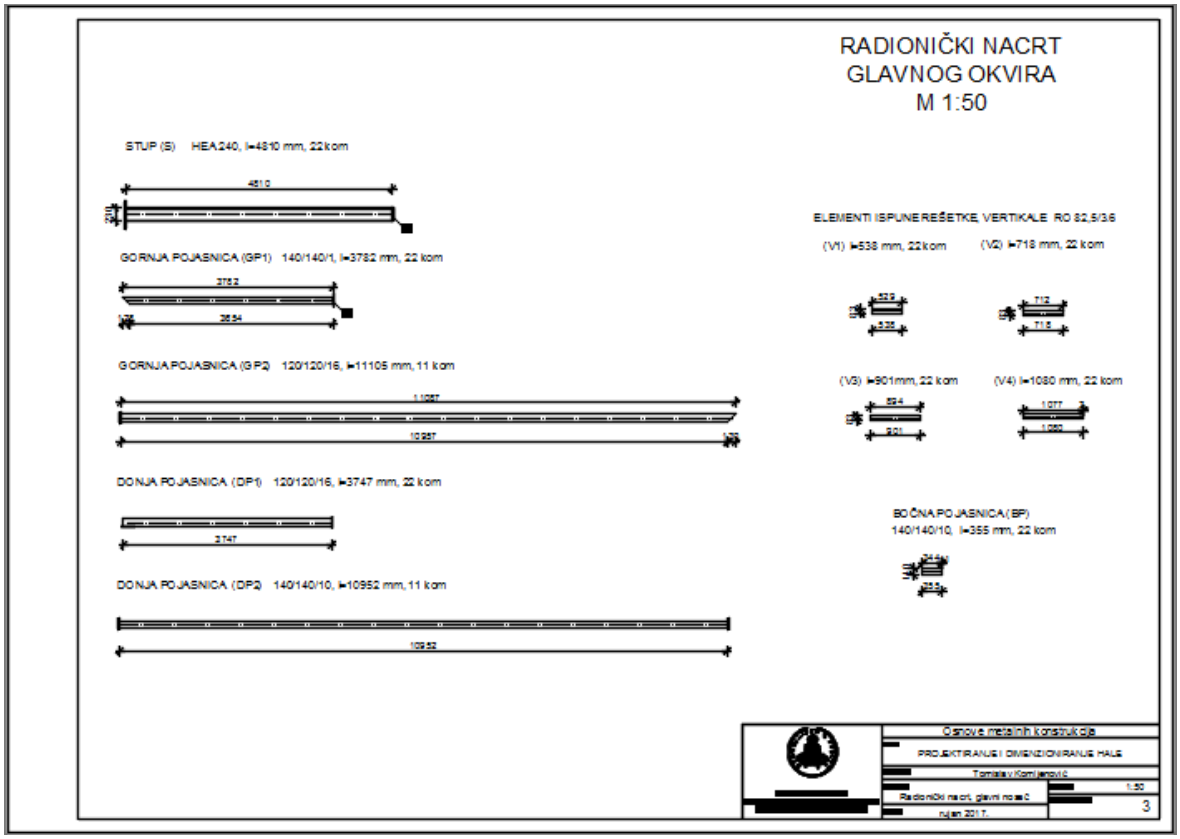


9 NACRTI

- GENERALNI PLAN POZICIJA
- PRESJEK KROZ GLAVNI NOSAČ
- RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
- DETALJI SPOJEVA: STUP - TEMELJ
  STUP - REŠETKA
  VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

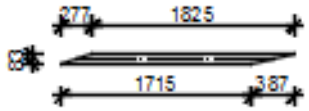

TLOCRTNI PRIKAZ
GENERALNI PLAN POZICIJA
M1:200
BOČNI PRIKAZ
Osnove metalnih konstrukcija
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
Generalni plan pozicija
rujan 2017.


PRESJEK KROZ
GLAVNI OKVIR
M1:50
DETALJ "D1"
Spoj stupa s temeljem
DETALJ "D2"
Spoj stupi i rešetka
DETALJ "D3"
Vlačni nastavak rešetke
Napomena
Materijal konstrukcije za sve elemente
je S355
Osnove metalnih konstrukcija
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
Tomislav Kornjenović 4235
Presjek kroz glavni okvir
rujan 2017.
1:50
2

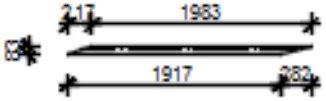

RADIONIČKI NACRT
GLAVNOG OKVIRA
M 1:50
STUP (S) HEA 240, l=4810 mm, 22 kom
4810
GORNJA POJASNICA (GP1) 140/140/1, l=3782 mm, 22 kom
3782
3654
GORNJA POJASNICA (GP2) 120/120/16, l=11105 mm, 11 kom
11057
10957
DONJA POJASNICA (DP1) 120/120/16, l=3747 mm, 22 kom
3747
DONJA POJASNICA (DP2) 140/140/10, l=10952 mm, 11 kom
10952
ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE RO 82,5/3,6
(V1) l=538 mm, 22 kom
(V2) l=718 mm, 22 kom
(V3) l=901mm, 22 kom
(V4) l=1080 mm, 22 kom
BOČNA POJASNICA (BP)
140/140/10, l=355 mm, 22 kom
Osnove metalnih konstrukcija
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
Tomislav Kamljenović
Radionički nacrt, glavni nosač
listopad 2017.
1:50
3

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, KOSNICI RO 82,5/5

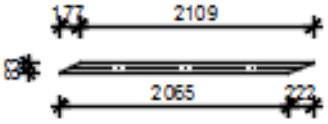
(K1) l=2102 mm, 22 kom



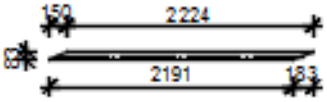
(K2) l=2200 mm, 22 kom



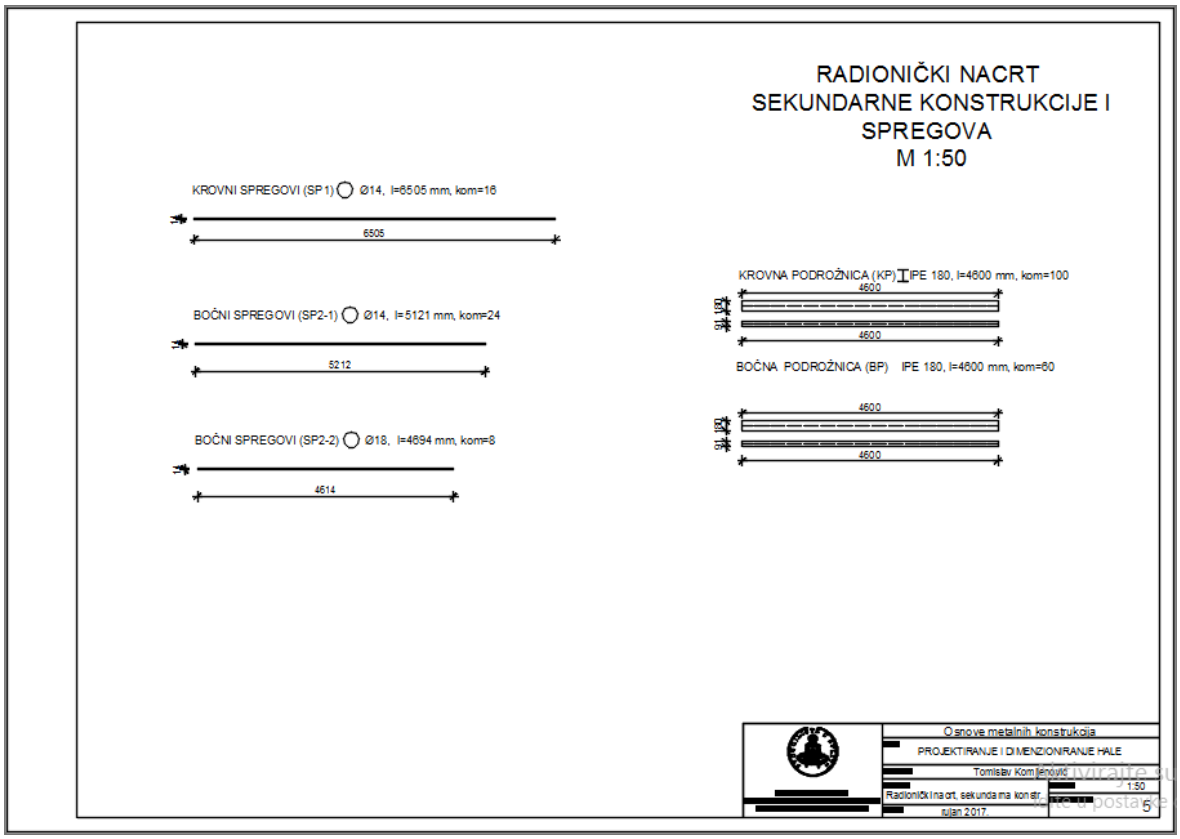
(K3) l=2287 mm, 22 kom

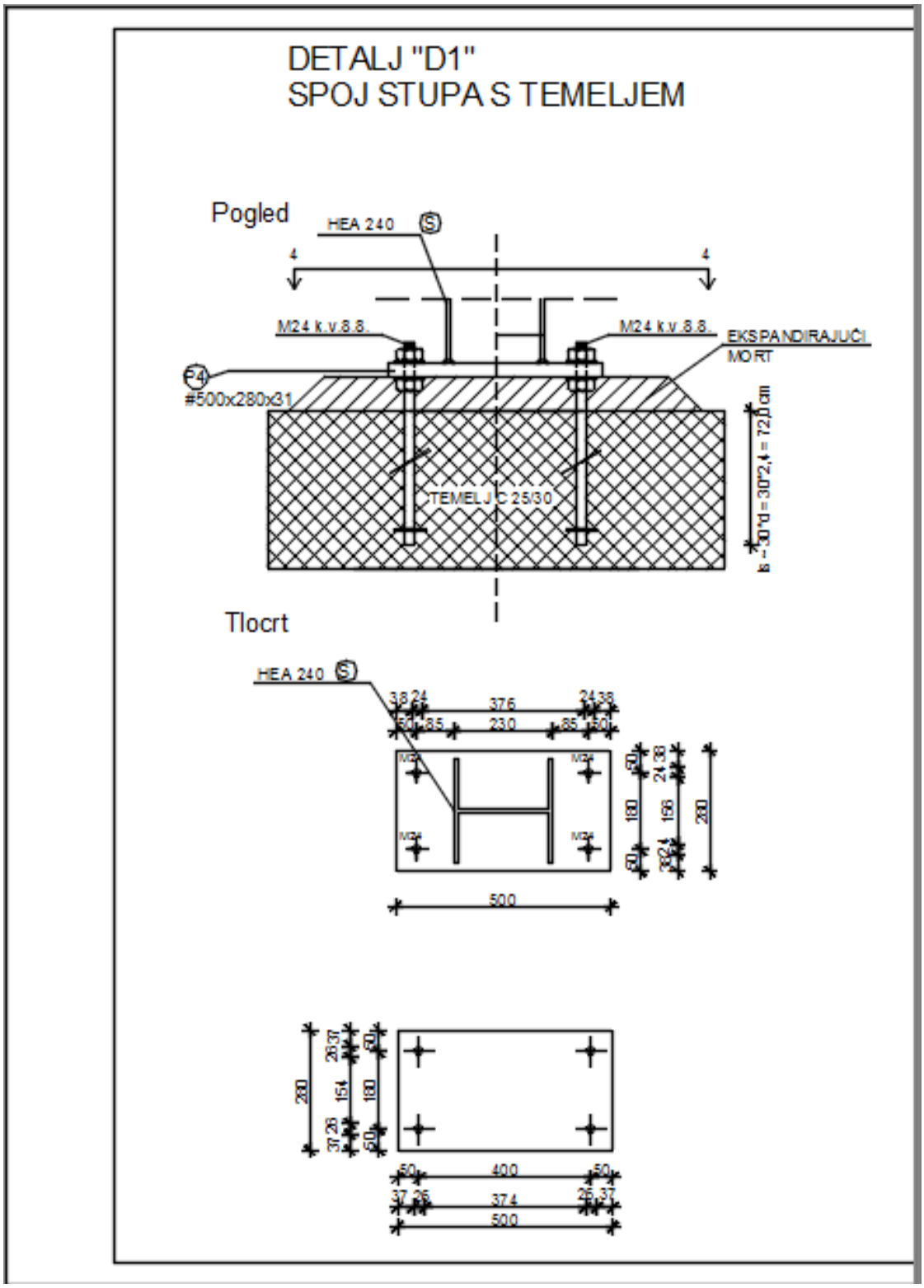


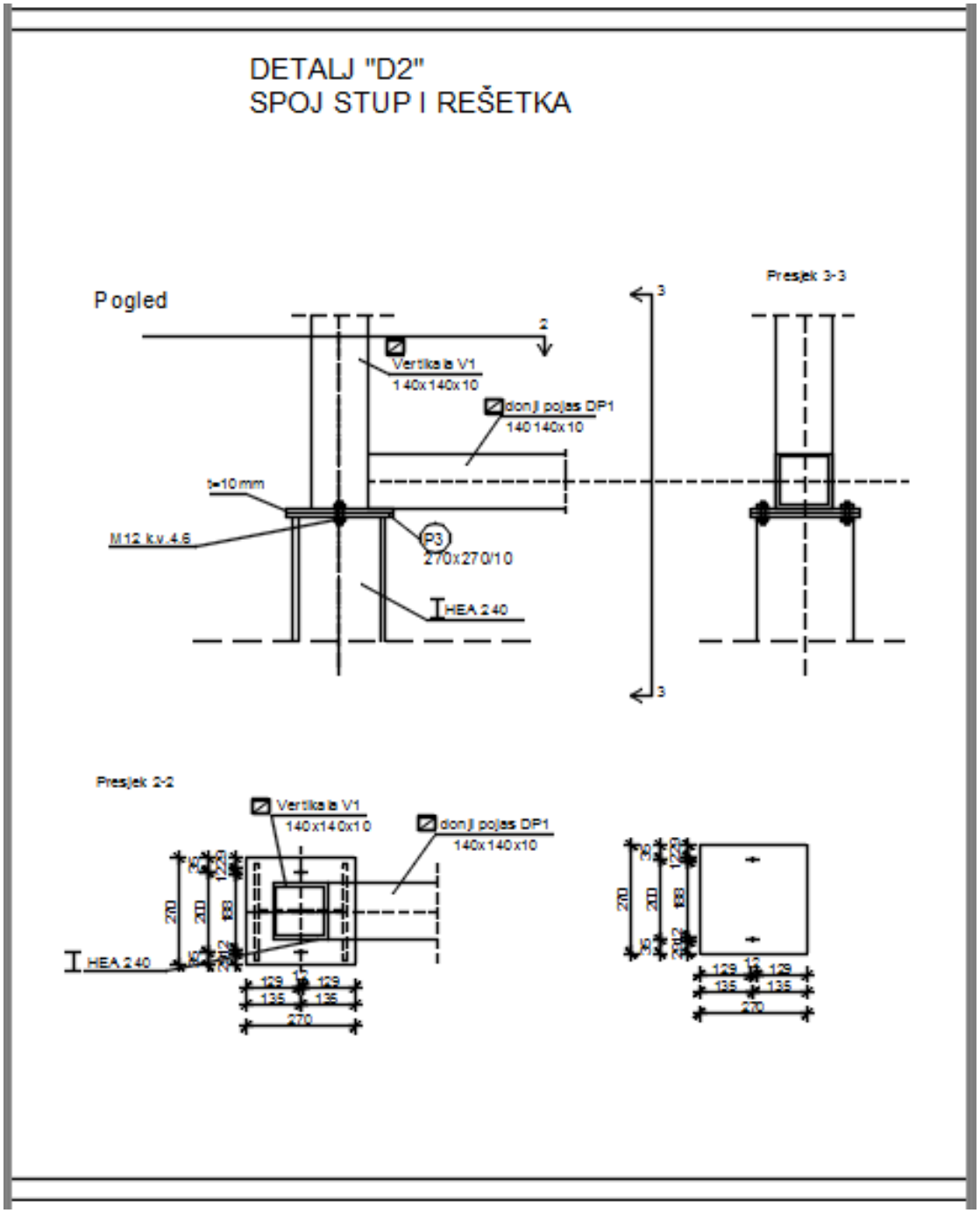
(K4) l=2374 mm, 22 kom



	Osnove metalnih konstrukcija
	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
	Tomislav Komljenović
	1:50
	Radionički nacrt, glavni nosač
	4
	rujan 2017.

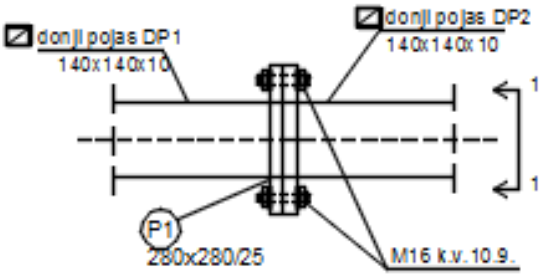

RADIONIČKI NACRT
SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE I
SPREGOVA
M 1:50
KROVNI SPREGOVI (SP1) Ø14, l=6505 mm, kom=16
6505
BOČNI SPREGOVI (SP2-1) Ø14, l=5121 mm, kom=24
5212
BOČNI SPREGOVI (SP2-2) Ø18, l=4694 mm, kom=8
4614
KROVNA PODROŽNICA (KP) IPE 180, l=4600 mm, kom=100
4600
4600
BOČNA PODROŽNICA (BP) IPE 180, l=4600 mm, kom=60
4600
4600
Osnove metalnih konstrukcija
PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
Tomislav Komljenović
1:50
Radionički nacrt, sekundarna konstr.
rujan 2017.
5


DETALJ "D1"
SPOJ STUPA S TEMELJEM
Pogled
HEA 240
S
4
4
M24 k.v.8.8.
M24 k.v.8.8.
EKSPANDIRAJUĆI MORT
P4
#500x280x31
TEMELJ C 25/30
Tlocrt
HEA 240
S
500
280
400
374
500

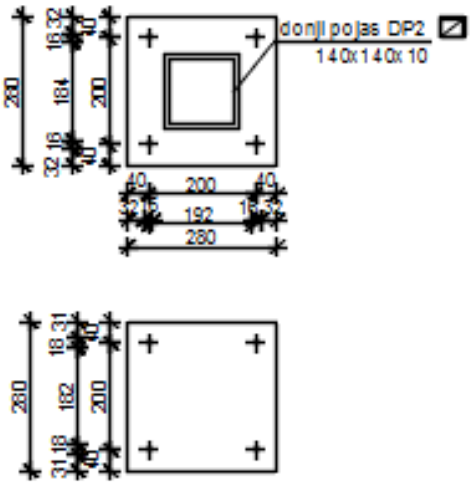

DETALJ "D2"
SPOJ STUP I REŠETKA
Pogled
Presjek 3-3
Vertikala V1
140x140x10
donji pojas DP1
140 140x10
t=10mm
M12 k.v.4.6
P3
270x270/10
HEA 240
Presjek 2-2
Vertikala V1
140x140x10
donji pojas DP1
140x140x10
HEA 240
270
200
188
129
135
270

DETALJ "D3"
VLAČNI NASTAVAK REŠETKE DP

Pogled



Presjek 1-1



10 TABLICA PREMJERA MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA JEDAN OKVIR (DUŽINSKI ELEMENTI)					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. MASA (kg/m)	UKUPNA MASA (kg)
S	HEA 240	4900	2	60,3	590,9
DP1	140x140x10	3747	2	39,9	299,0
DP2	140x140x10	10952	1	39,9	436,9
GP1	140x140x10	3782	2	39,9	301,8
GP2	140x140x10	11105	1	39,9	443,1
V1	82,5x3,6	538	2	7	7,5
V2	82,5x3,6	718	2	7	10,05
V3	82,5x3,6	901	2	7	12,61
V4	82,5x3,6	1074	1	7	7,51
Bočni pojas(BP)	140x140x10	355	2	39,9	28,3
D1	82,5x3,6	2102	2	7	29,4
D2	82,5x3,6	2200	2	7	30,8
D3	82,5x3,6	2287	2	7	32,01
D4	82,5x3,6	2374	2	7	33,2
PREDMJER PLOČICA U SPOJEVIMA					
POZICIJA	DIMENZIJE (mm)	KOMADA		UKUPNA MASA (kg)	
P1	500x280x31	2		68,1	
P2	270x270x10	4		22,8	
P3	280x280x25	4		61,5	
	Ukupno (kg)			2415,48	
	5 % spojna sredstva			120,7	
	Ukupna masa potrebnog materijala + 5 % spojna sredstva			2536,1	

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA SEKUNDARNU KONSTRUKCIJU					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. MASA (kg/m)	UKUPNA MASA (kg)
KP	IPE 180	4600	100	18.76	8629,6
BP	IPE 180	4600	60	18.76	5177,7
SP-1	ϕ14	6505	8	1,21	62,9
SP2-1	ϕ14	5212	8	1,21	50,4
SP2-2	ϕ14	4626	4	1,21	22,4
				Ukupno (kg)	13943

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA ZABATNE STUPOVE					
POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. MASA (kg/m)	UKUPNA MASA (kg)
STUP 1	HEA 140	5390	4	24.7	532,5
STUP 2	HEA 140	5755	4	24.7	568,6
STUP 3	HEA 140	6120	2	24.7	302,3
				Ukupno (kg)	1403,4

11 LITERATURA

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

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

[3] B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 3, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

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

[5] prof.dr.sc Ivica Boko: Predavanja