Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Mikulić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

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:123:025788

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

Ivan Mikulić

PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE PROIZVODNE HALE

Završni rad

Split, 2014.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	**PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Ivan Mikulić
BROJ INDEKSA:	3941
KATEDRA:	**Katedra za metalne i drvene konstrukcije**
PREDMET:	Osnove metalnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

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

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: Fe-360

Objekt se nalazi na području Rijeke.

Razmak okvira: 7,1 (m)

U Splitu, 22. rujna 2014.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Boko Ivica

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

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

Ključne riječi:

Čelik, hala, nosiva konstrukcija, dimenzioniranje.

Calculation of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on some information about a steel manufacturing hall, our assignment is to calculate this object: its main supporting structure, secondary structure and bracings construction.

Keywords:

Steel, hall, load-bearing construction, dimensioning.

SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS 6

2. ANALIZA OPTEREĆENJA 9

2.1. STALNO OPTEREĆENJE 9

2.1.1. KROVNA PLOHA 9

2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE 10

2.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA 10

2.2.2. DJELOVANJE VJETRA 11

3. DIJAGRAMI UNUTRAŠNJIH SILA ZA POJEDINA DJELOVANJA 17

3.1. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA 17

3.2.GLAVNA KONSTRUKCIJA 20

3.2.1. Vlastita težina konstrukcija 20

3.2.2. Stalno opterećenje – krovna ploha 21

3.2.3. Opterećenje snijegom – krovna ploha 23

3.2.4. Opterećenje vjetrom W1 24

3.2.5. Opterećenje vjetrom W2 26

4. KONTROLA PROGIBA (GSU) 28

4.1. VERTIKALNI PROGIB U SREDINI DONJEG POJASA REŠETKE 28

4.2. HORIZONTALNI POMAK VRHA STUPA 29

5. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA 30

5.1. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE 30

5.1.1. KROVNE PODROŽNICE 30

5.1.2. BOČNE PODROŽNICE 47

5.1.3. KROVNI SPREGOVI 53

5.1.4. BOČNI SPREGOVI 54

5.2. DIMENZIONIRANJE STUPOVA KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA 55

5.3. DIMENZIONIRANJE REŠETKE 63

5.3.1. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA REŠETKE 63

5.3.2. DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE 65

5.3.3. DIMENZIONIRANJE VERTIKALE REŠETKE 68

5.3.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALE REŠETKE 70

6. PRORAČUN SPOJEVA 73

6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ 73

6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA 79

6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA ŠTAPA REŠETKE 82

7. DIMENZIONIRANJE TEMELJA 84

8. UKUPNA TEŽINA HALE I TEŽINA PO m^2 86

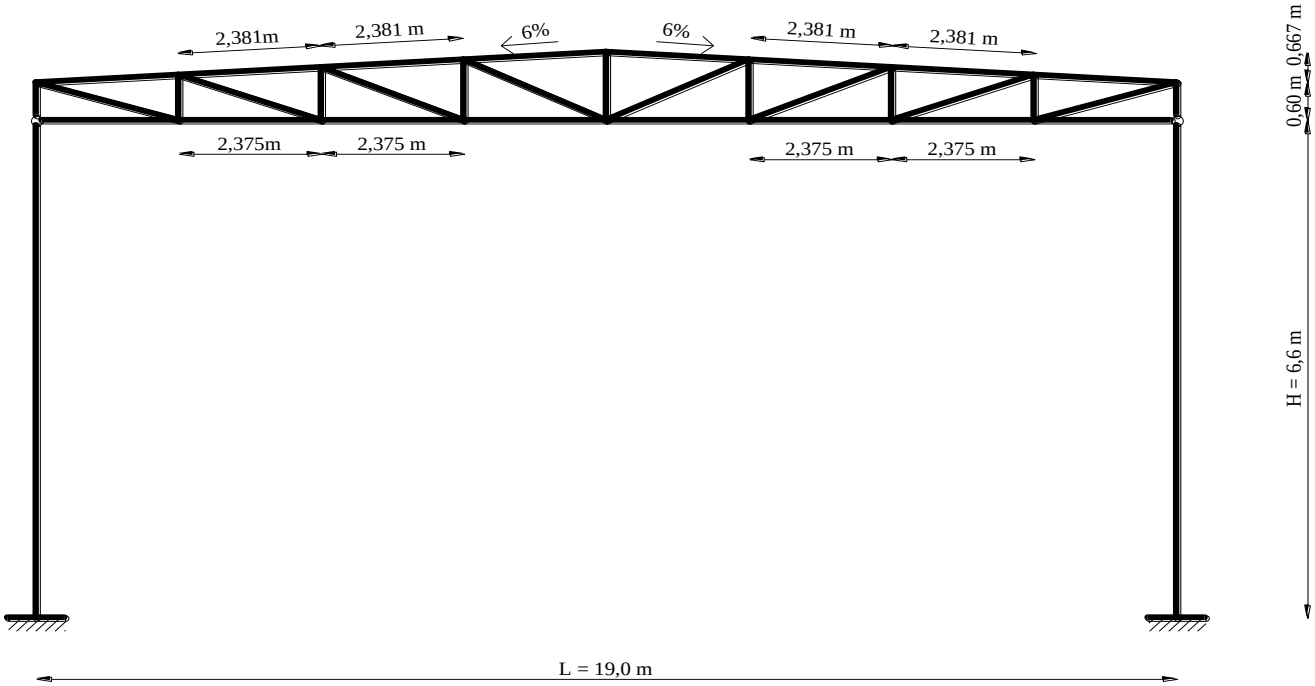
10. LITERATURA 87

1. TEHNIČKI OPIS

OPIS KONSTRUKCIJE:

Montažna hala nalazi se na području grada Rijeke. Tlocrtne dimnzije su 19,0 x 7,1 (m), visina iznosi 7,87 (m). Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 4{,}02°$, što je ekvivalentno padu od 6,00%. Projektirana je za potrebe skladištenja.

Glavni nosivi sustav hale je zamišljen kao sustav 11 ravninskih okvira raspona 19,00 (m), stabilnih u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 7,10 (m).
Na gornje pojaseve se oslanjaju sekundarni krovni nosači (podrožnice) na međusobnom osnom razmaku od 2,381 (m), a na stupove su oslonjeni sekundarni bočni nosači na međusobnom osnom razmaku od 1,65(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.
GEOMETRIJA GLAVNOG NOSAČA :



KONSTRUKTIVNI ELEMENTI:

Rešetka

Proračunom su odabrani donji pojasevi profila 120x120x12 (mm),gornji pojasevi profila 100x100x10 (mm), vertikale50x50x4 (mm) i dijagonale 70x70x8 (mm). Zbog maksimalne proizvodne dužine od 12,0 (m), donji pojas se sastoji iz dva dijela, jednog dužine 11500 (mm) i 455 (mm), gornji pojas izrađen je također iz dva dijela, duljina 1150 (mm) i 4556 (mm).

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi europskih širokopojasnih H profila HEB 340 ukupne dužine 6550 (mm).

Podrožnice

Proračunom su odabrane podrožnice europskih širokopojasnih H profila HEA 200.

Sekundarni bočni nosači

Proračunom su odabrani sekundarni bočni nosači profila HEA 180.

Spregovi

Kao dijagonale krovnih i bočnih spregova odabrane su čelične sajle Φ 32 mm i Φ 34 mm

SPOJEVI:

Vlačni nastavak rešetke

Spoj se izvodi čeonim pločama dimenzija 250x250x13 (mm) navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćenim vijcima M20; k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

Stup – rešetka

Spoj donje pojasnice rešetke sa stupom ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 505x320x17 (mm) i vijcima M16; k.v. 4,6 nosivim na vlak i odrez.

Stup – temelj

Spoj se izvodi sa dvije podrožnom dimenzija 750x350x40 (mm) navarenim na kraj stupa i pričvršćenim vijcima M30; k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. .Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE:

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

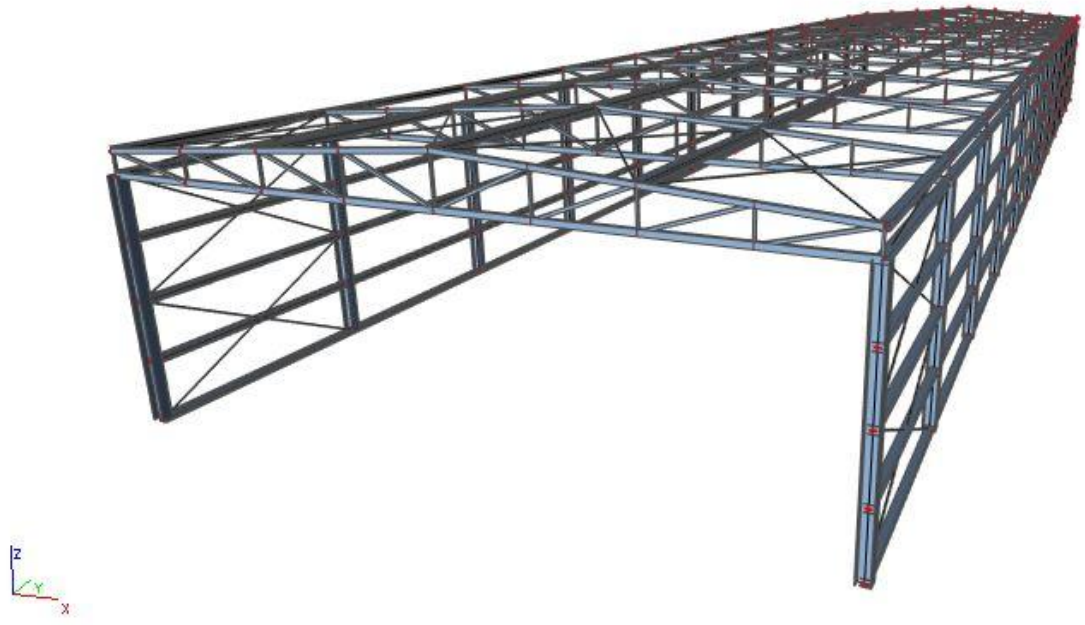
- stalno (vlastita težina okvira, sekundarna konstrukcija, instalacije),
- snijeg
- vjetar

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 8,1 (m) širine krovne plohe.
Odgovarajući koeficijenti za vjetar I snijeg uzeti su iz propisanih tablica. Kao mjerodavna za dimenzioniranje konstruktivnih elemenata i spojeva uzeta je najnepovoljnija kombinacija opterećenja.
Proračun konstrukcije izvršen je programskim paketom „SCIA 2014“

MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE
Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika Fe-360 (S 235).
Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C20/25, s betonskim čelikom B500B kao armaturom.

ANTIKOROZIJSKA ZAŠTITA
Svi dijelovi čelične konstrukcije moraju biti zaštićeni od korozije.
Kao vrsta zaštite od korozije koristi se zaštita premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 μm.

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



2. ANALIZA OPTEREĆENJA

2.1. STALNO OPTEREĆENJE

2.1.1. KROVNA PLOHA

-sendvič paneli (aluminij):g=0,15 kN/m^2

-sekundarna konstrukcija i spregovi: g=0,20kN/m^2

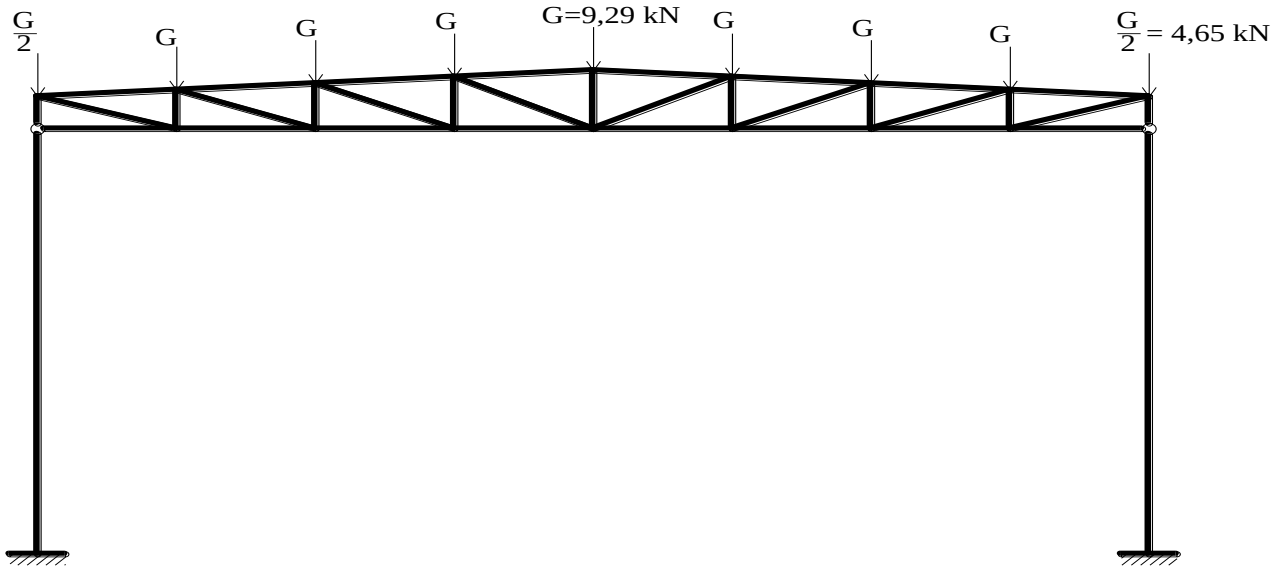
-instalacije: g=0,20kN/m^2

Ukupno :g = 0,55 kN/m^2

$$a=\frac{2,38}{\cos\alpha}=\frac{2,38}{\cos 3,44}=2,38m$$

$$G=g\cdot a\cdot l=0,55\cdot 2,38\cdot 7,1=9,29kN$$

opterećenje čvorova:



2.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE

2.2.1. DJELOVANJE SNIJEGA

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k (kN/m^2)$$

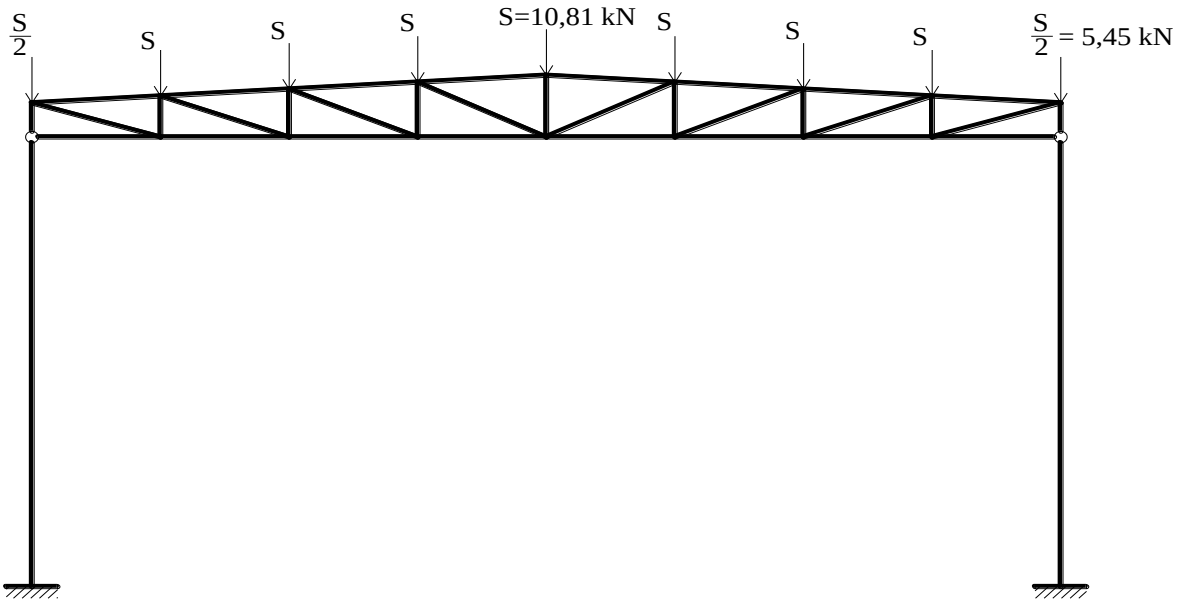
C_e=C_t=1,0

S_k=0,55 kN/m^2 - očitano za područje C (120 mn.m.) - Rijeka

$\mu_i = 0{,}8$ za kut 4^0

$$s = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}64 \frac{kN}{m^2}$$
$$S = s \cdot a \cdot l = 0{,}64 \cdot 2{,}38 \cdot 7{,}1 = 10{,}81 kN$$

opterećenje čvorova:



2.2.2. DJELOVANJE VJETRA

vanjski pritisak $\rightarrow w_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe}$

unutarnji pritisak $\rightarrow w_i = q_{ref} \cdot C_e(Z_i) \cdot C_{pi}$

Referentni pritisak vjetra

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 24,09^2 = 705,6 \frac{N}{m^2} = 0,706 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$$

$$v_{ref} = v_{ref,0} \cdot C_{DIR} \cdot C_{TEM} \cdot C_{ALT} = 30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,12 = 33,6 \frac{m}{s}$$

$$C_{DIR} = C_{TEM} = 1,0$$

$$C_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot 120 = 1,12$$

$v_{ref,0} = 30,0 \frac{m}{s} \rightarrow$ očitano za Rijeka (II. vjetrovna zona)

Nadmorska visina = 120 m n.m.

Koef. izloženosti

Očitano za regija P-7, kategorija zemljišta 3, visina objekta 7,87 m

$$C_e(Z_e) = C_e(Z_i) = 2,0$$

Koef. unutarnjeg tlaka

$$C_{pi} = \pm 0,3$$

koef. vanjskog tlaka:

SMJER VJETRA $\Theta = 0^0$

e=min $\{b; 2h\}$=min $\{7,1 \cdot 10 = 71 \ ; \ 2 \cdot 7,87 = 15,74\} = 15,74m$

za nagib 3.44^0

PODRUČJE	$C_{pe,10}$
F	-1,7
G	-1,2
H	-0,6
I=J	-0,3
D	+0,8
E	-0,3

Pritisak vjetra na unutrašnje površine:

$$W_i = q_{ref} \cdot C_e(Z_i) \cdot C_{pi} = 0{,}706 \cdot 2{,}0 \cdot (\pm 0{,}3) = \pm 0{,}424 \frac{kN}{m^2}$$

Pritisak vjetra na vanjske površine:

$$W_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe} = 0{,}362 \cdot 2{,}0 \cdot C_{pe} = 1{,}412 \cdot C_{pe} \frac{kN}{m^2}$$

PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$C_{pe,10}$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,3	+0,8	-0,3
$W_e(kN/m^2)$	-2,400	-1,694	-0,847	-0,424	+1,130	-0,424

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

Vjetar **W1-pozitivni** unutarnji pritisak (C_{pi}=+0,3)

PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$W_e(kN/m^2)$	-2,400	-1,694	-0,847	-0,424	+1,130	-0,424
W_i	+0,424	+0,424	+0,424	+0,424	+0,424	+0,424
W_k	-2,824	-2,118	-1,271	-0,848	+0,706	-0,848

Vjetar **W2 - negativni** unutarnji pritisak (C_{pi}=-0,3)

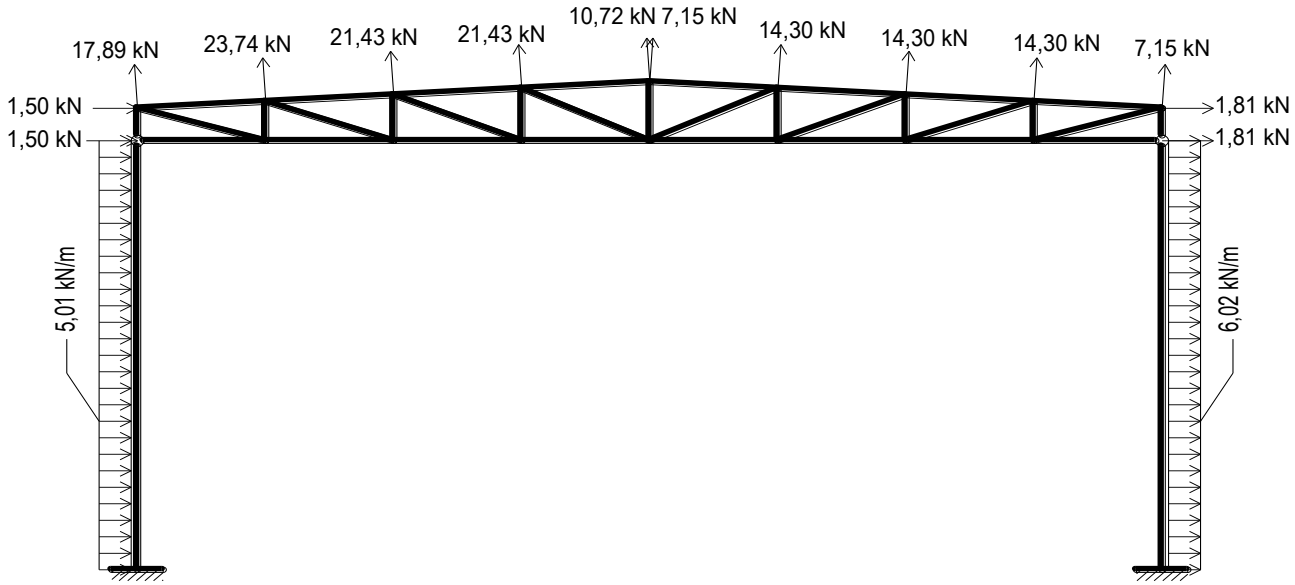
PODRUČJE	F	G	H	I=J	D	E
$W_e(kN/m^2)$	-2,400	-1,694	-0,847	-0,424	+1,130	-0,424
W_i	-0,424	-0,424	-0,424	-0,424	-0,424	-0,424
W_k	-1,976	-1,270	-0,424	0	+1,554	0

Za proračun uzimamo srednji glavni nosač!

Vjetar W1

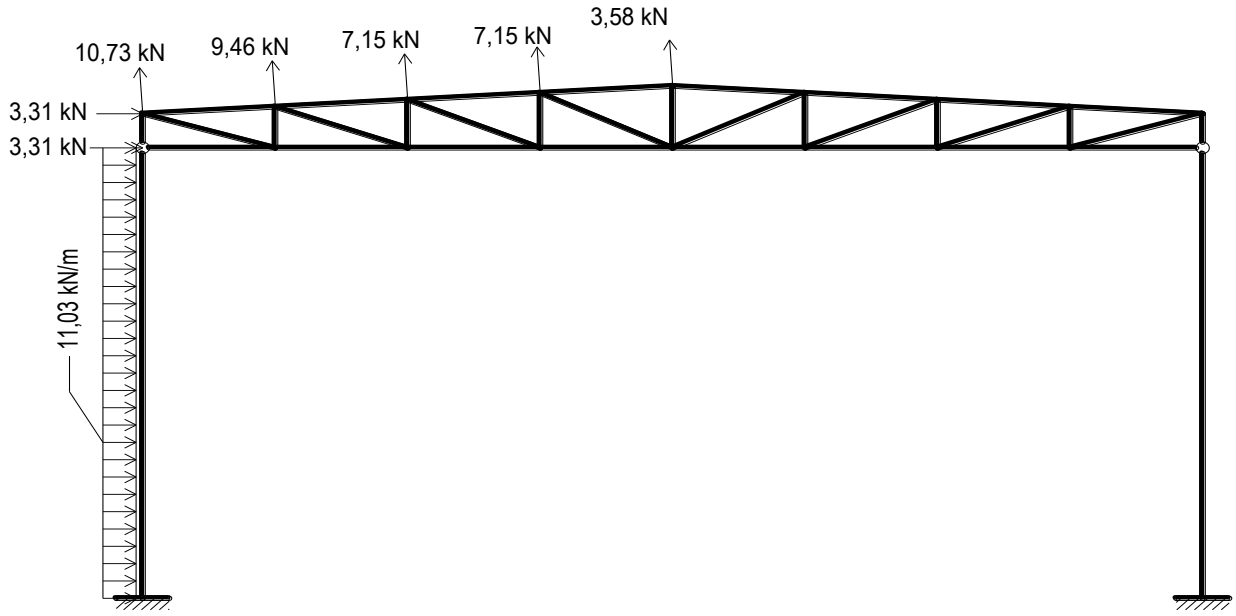
$$W_1 = 1{,}19 \cdot 7{,}1 \cdot (-2{,}118) = -17{,}89kN$$
$$W_2 = 0{,}384 \cdot 7{,}1 \cdot (-2{,}118) + 1{,}991 \cdot 7{,}1 \cdot (-1{,}271) = -23{,}74kN$$
$$W_3 = W_4 = 2{,}375 \cdot 7{,}1 \cdot (-1{,}271) = -21{,}43kN$$
$$W_5 = 1{,}19 \cdot 7{,}1 \cdot (-1{,}271) + 1{,}19 \cdot 7{,}1 \cdot (-0{,}848) = -17{,}90kN$$
$$W_6 = W_7 = W_{8=} 2{,}375 \cdot 7{,}1 \cdot (-0{,}848) = -14{,}30kN$$
$$W_9 = 1{,}19 \cdot 7{,}1 \cdot (-0{,}848) = -7{,}16kN$$
$$W_D = 0{,}3 \cdot 7{,}1 \cdot (0{,}706) = 1{,}50kN$$
$$W_E = 0{,}3 \cdot 7{,}1 \cdot (-0{,}848) = -1{,}81kN$$

$W_{q2D} = 0,706 \cdot 7,1 = 5,01kN$
$W_{q2E} = (-0,848) \cdot 7,1 = -6,02kN$



Vjetar W2

$W_1 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-1,270) = -10,73kN$
$W_2 = 0,384 \cdot 7,1 \cdot (-1,270) + 1,991 \cdot 7,1 \cdot (-0,424) = -9,46kN$
$W_3 = W_4 = 2,375 \cdot 7,1 \cdot (-0,424) = -7,15kN$
$W_5 = 1,19 \cdot 7,1 \cdot (-0,424) = -3,58kN$
$W_6 = W_7 = W_8 = W_9 = 0kN$
$W_D = 1,554 \cdot 7,1 \cdot 0,3 = -3,31kN$
$W_{q1D} = 1,554 \cdot 7,1 = -11,03kN$



KROVNE PODROŽNICE

$G = g * 2{,}381 = 0{,}55 * 2{,}381 = 1{,}31\ kN/m$

$S = s * 2{,}381 = 0{,}64 * 2{,}381 = 1{,}52\ kN/m$

Vjetar W1

$$W_1 = 1{,}19 \cdot (-2{,}118) = -2{,}52kN$$

$$W_2 = 0{,}384 \cdot (-2{,}118) + 1{,}991 \cdot (-1{,}271) = -3{,}34kN$$

$$W_3 = W_4 = 2{,}375 \cdot (-1{,}271) = -3{,}02kN$$

$$W_5 = 1{,}19 \cdot (-1{,}271) + 1{,}19 \cdot (-0{,}848) = -2{,}52kN$$

$$W_6 = W_7 = W_{8=} 2{,}375 \cdot (-0{,}848) = -2{,}01kN$$

$$W_9 = 1{,}19 \cdot (-0{,}848) = -1{,}01kN$$

Vjetar W2

$W_1 = 1{,}19 \cdot (-1{,}270) = -1{,}51 kN$

$W_2 = 0{,}384 \cdot (-1{,}270) + 1{,}991 \cdot (-0{,}424) = -1{,}33 kN$

$W_3 = W_4 = 2{,}375 \cdot (-0{,}424) = -1{,}01 kN$

$W_5 = 1{,}19 \cdot (-0{,}424) = -0{,}50 kN$

$W_6 = W_7 = W_8 = W_9 = 0 kN$

Uzdužna sila:

-pritisak vjetra na zabat

Za područje D Cpe=+0,8

$$w_e = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{pe} = 0{,}706 \cdot 2{,}0 \cdot 0{,}8 = 1{,}13 \ \frac{kN}{m^2}$$

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

w_k = 1,13+0,424=1,554 [kN/m^2]

$$W_k = w_k \cdot A_Z = w_k \cdot \frac{h \cdot l}{2} = 1{,}554 \cdot \frac{7{,}87 \cdot 4{,}762}{2} = 29{,}12 \ \text{kN}$$

-sila od trenja vjetra po krovu

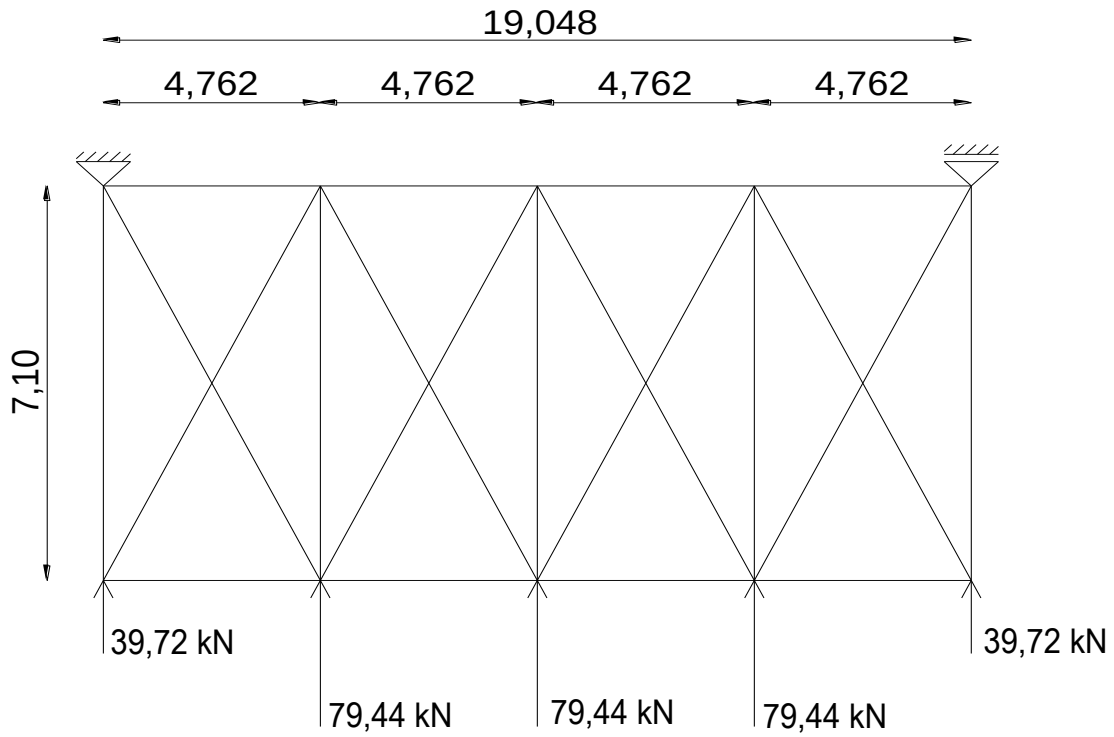
$$w_{fr} = q_{ref} \cdot C_e(Z_e) \cdot C_{fr} = 0{,}706 \cdot 2{,}0 \cdot 0{,}1 = 0{,}141 \ \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{fr} = w_{fr} \cdot A_{fr} = w_{fr} \cdot \frac{d \cdot l}{2} = 0{,}141 \cdot \frac{71 \cdot 4{,}762}{2} = 23{,}84 \ \text{kN}$$

-ukupna sila

$$F = \gamma \cdot (W_k + W_{fr}) = 1{,}5 \cdot (29{,}12 + 23{,}84) = 79{,}44 \ \text{kN}$$

$$\frac{F}{2} = \frac{79{,}44}{2} = 39{,}72 kN$$



BOČNE PODROŽNICE:

Vjetar 1:

Područje D: $W(D) = w_{k,D} * 1,65 = 0,706 * 1,61 = 1,14$ kN/m'

Područje E: $W(E) = w_{k,E} * 1,65 = -0,848 * 1,61 = -1,37$ kN/m'

Vjetar 2:

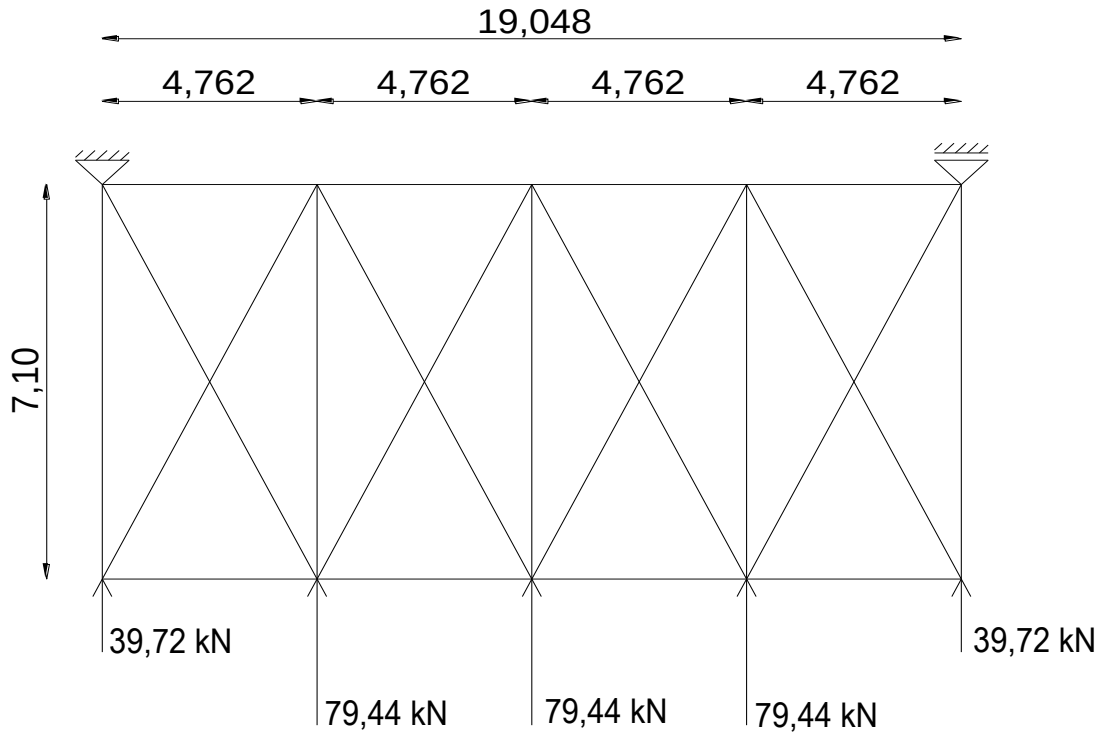
Područje D: $W(D) = w_{k,D} * 1,65 = 1,554 * 1,61 = 2,50$ kN/m'

Područje E: $W(E) = w_{k,E} * 1,65 = 0 * 1,61 = 0$ kN/m'

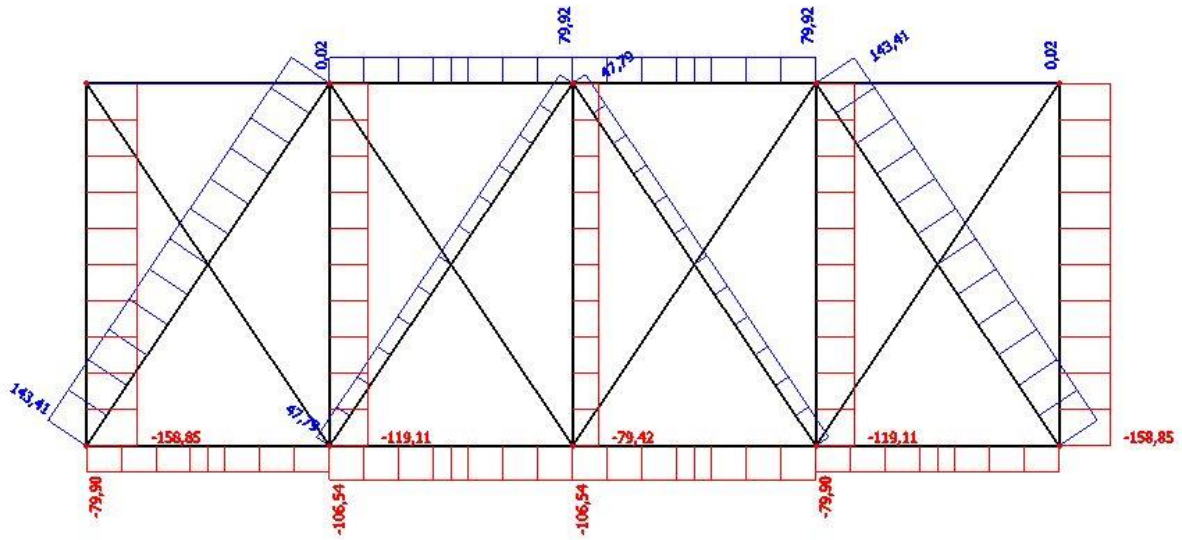
3. DIJAGRAMI UNUTRAŠNJIH SILA ZA POJEDINA DJELOVANJA

3.1. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

Krovne podrožnice i spregovi:

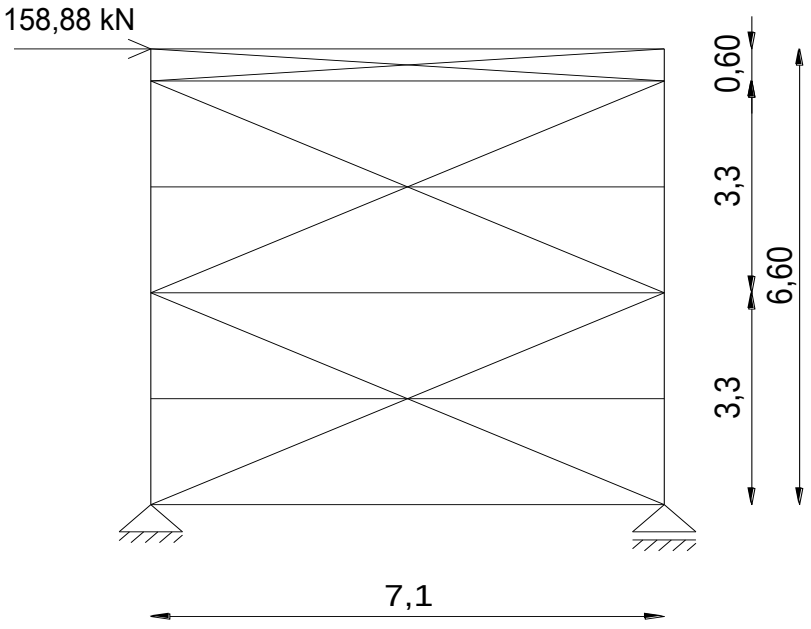


Slika 3.1.1. Raspored krovnih spregova i opterećenje

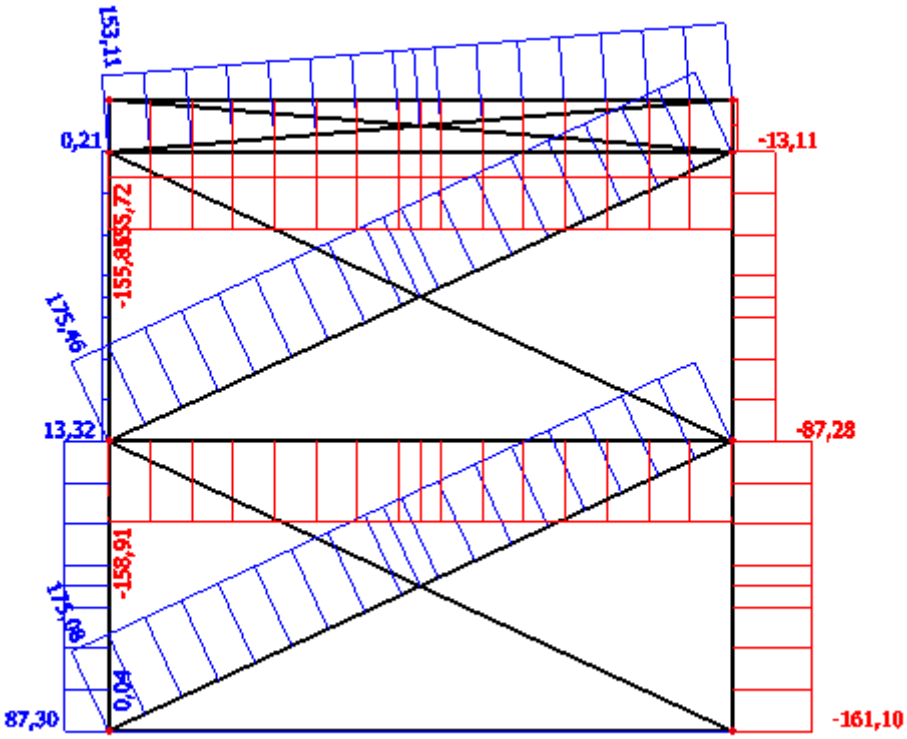


Slika 3.1.2. Uzdužne sile u podrožnicama i spregovima

Bočni spregovi:



Slika 3.1.3. Raspored bočnih spregova i opterećenje

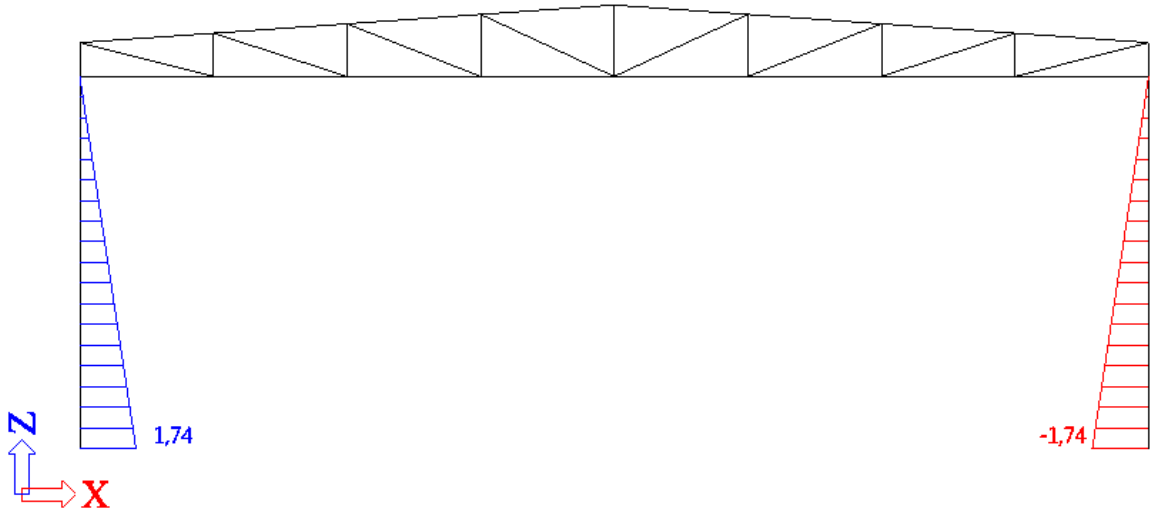


Slika 3.1.4. Maksimalne uzdužne sile u bočnim spregovima

3.2.GLAVNA KONSTRUKCIJA

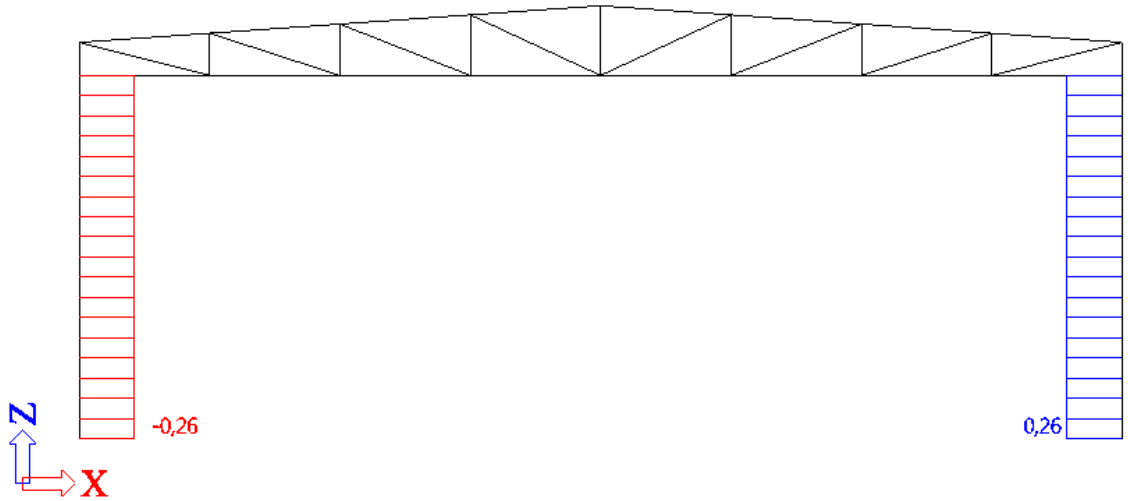
3.2.1. Vlastita težina konstrukcija

M (kNm)



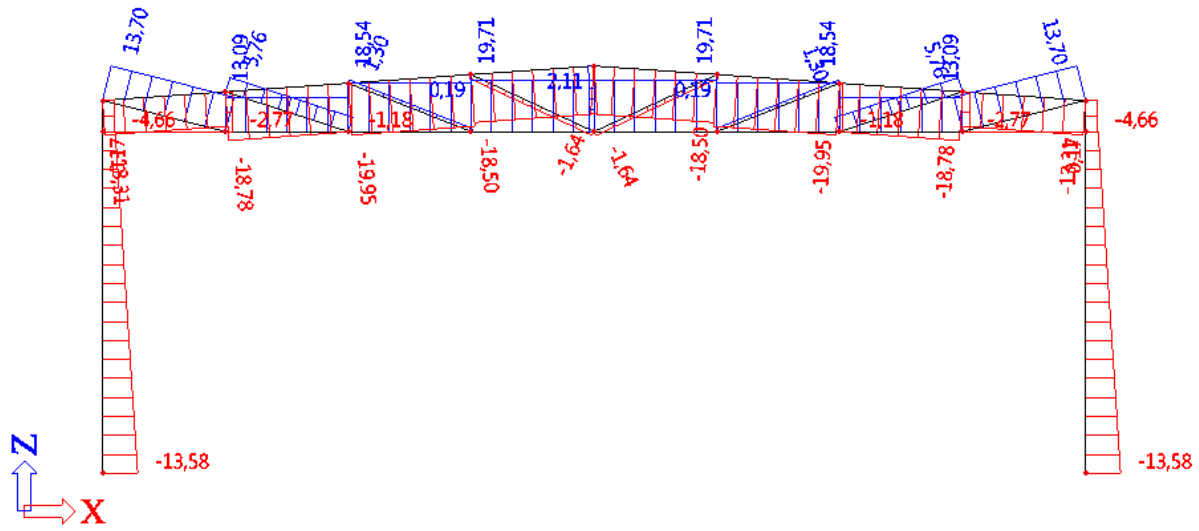
Slika 3.2.1. Momentni dijagram vlastite težine konstrukcije

V (kN)



Slika 3.2.2. Dijagram poprečnih sila vlastite težine konstrukcije

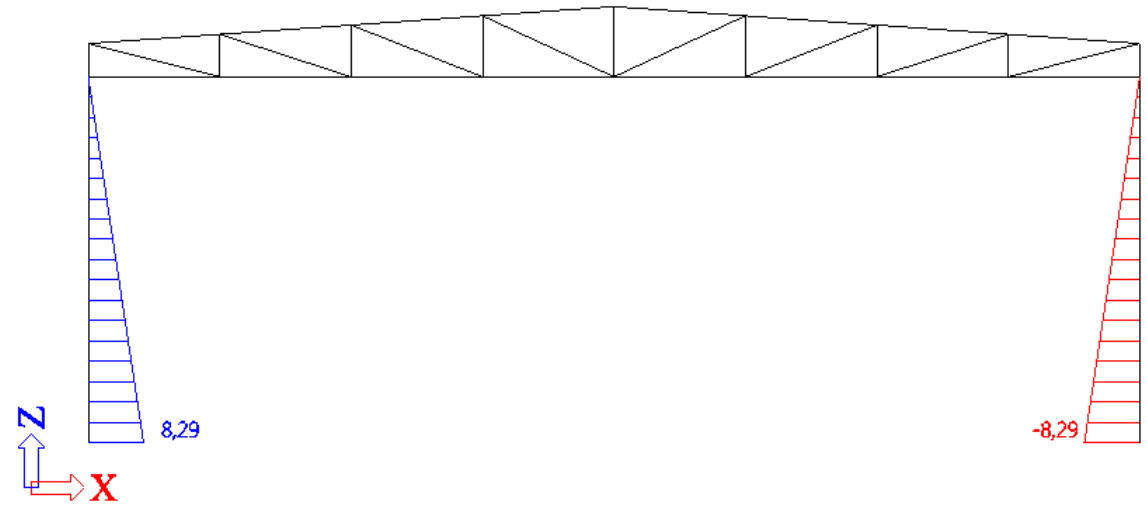
N (kN)



Slika 3.2.3. Dijagram uzdužnih sila vlastite težine konstrukcije

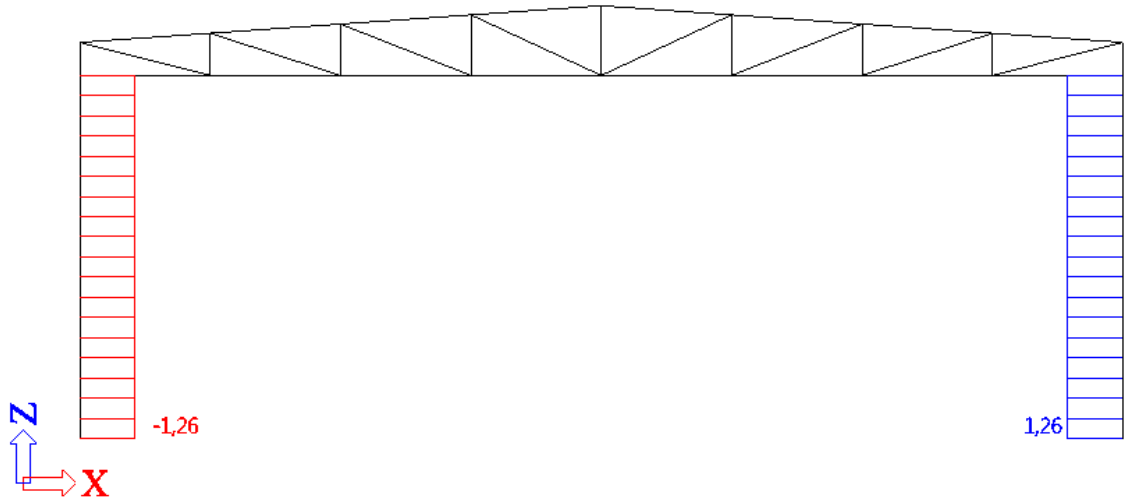
3.2.2. Stalno opterećenje – krovna ploha

M (kNm)



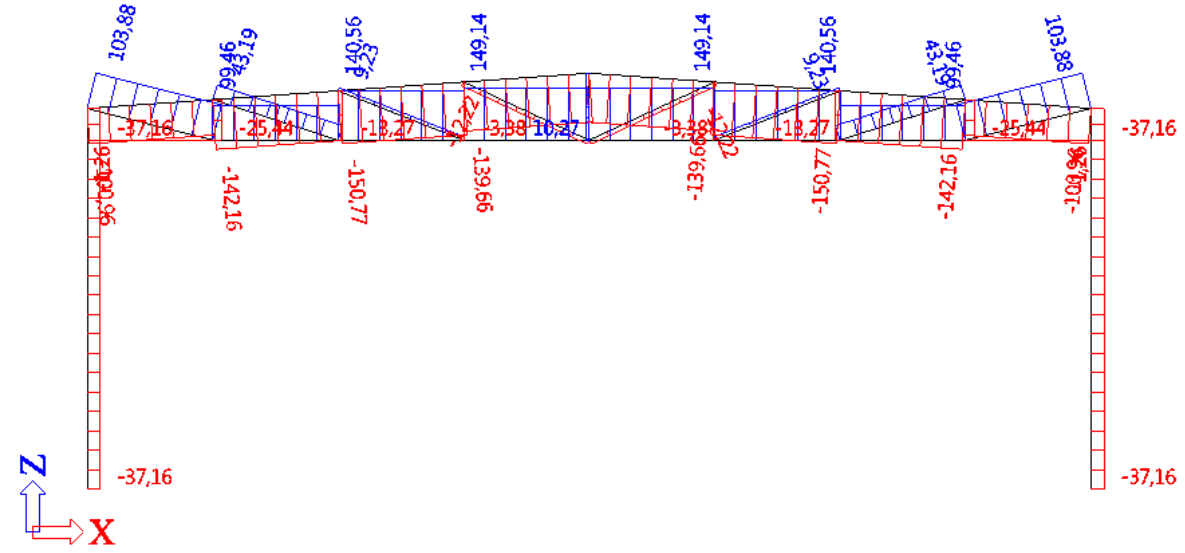
Slika 3.2.4. Momentni dijagram stalnog opterećenja

V (kN)



Slika 3.2.5. Dijagram poprečnih sila stalnog opterećenja

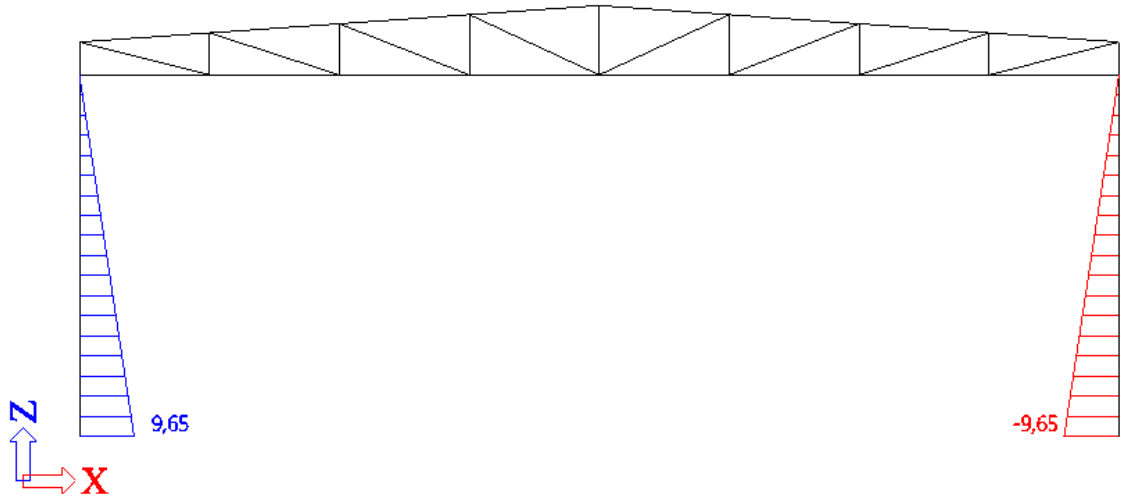
N (kN)



Slika 3.2.6. Dijagram uzdužnih sila stalnog opterećenja

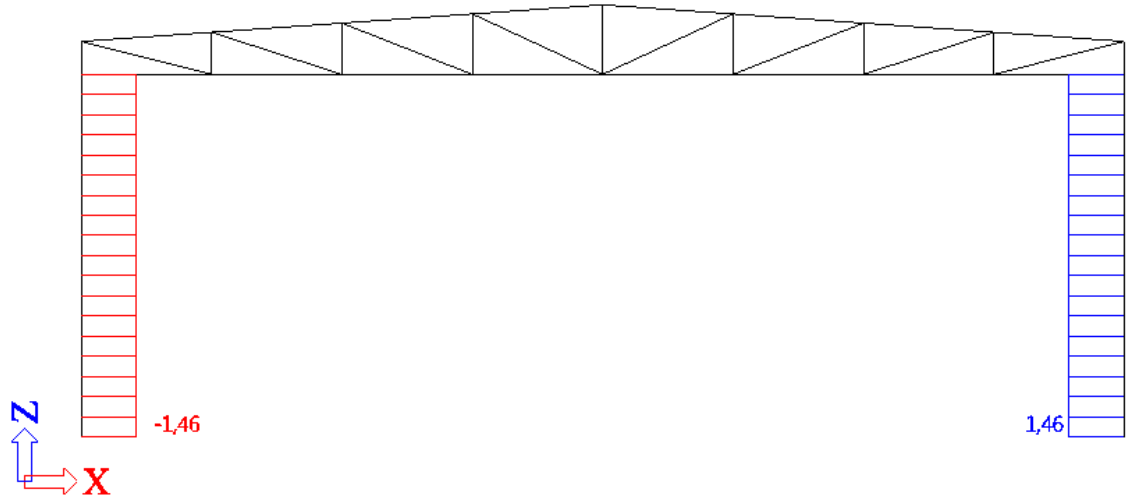
3.2.3. Opterećenje snijegom – krovna ploha

M (kNm)



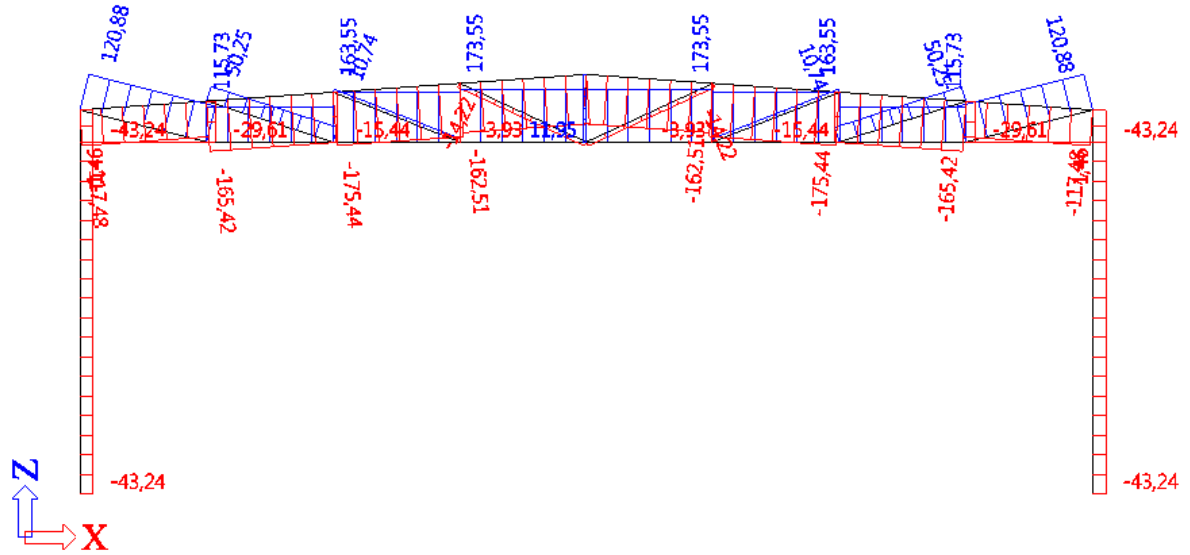
Slika 3.2.7. Momentni dijagram opterećenja snijegom

V (kN)



Slika 3.2.8. Dijagram poprečnih sila opterećenja snijegom

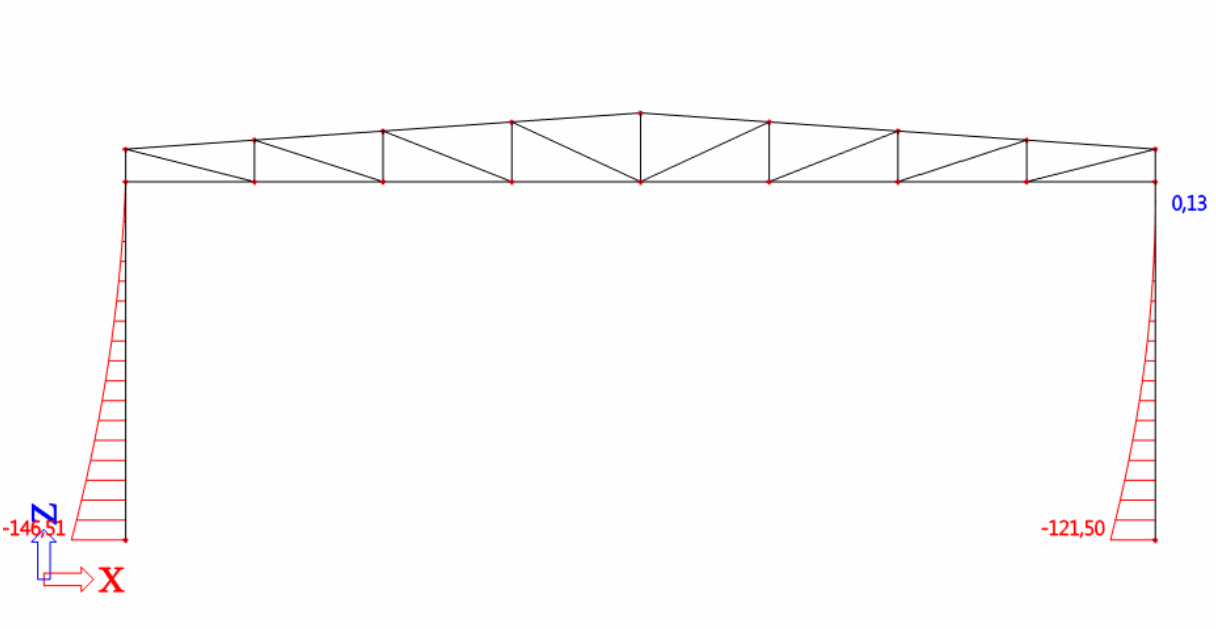
N (kN)



Slika 3.2.9. Dijagram uzdužnih sila opterećenja snijegom

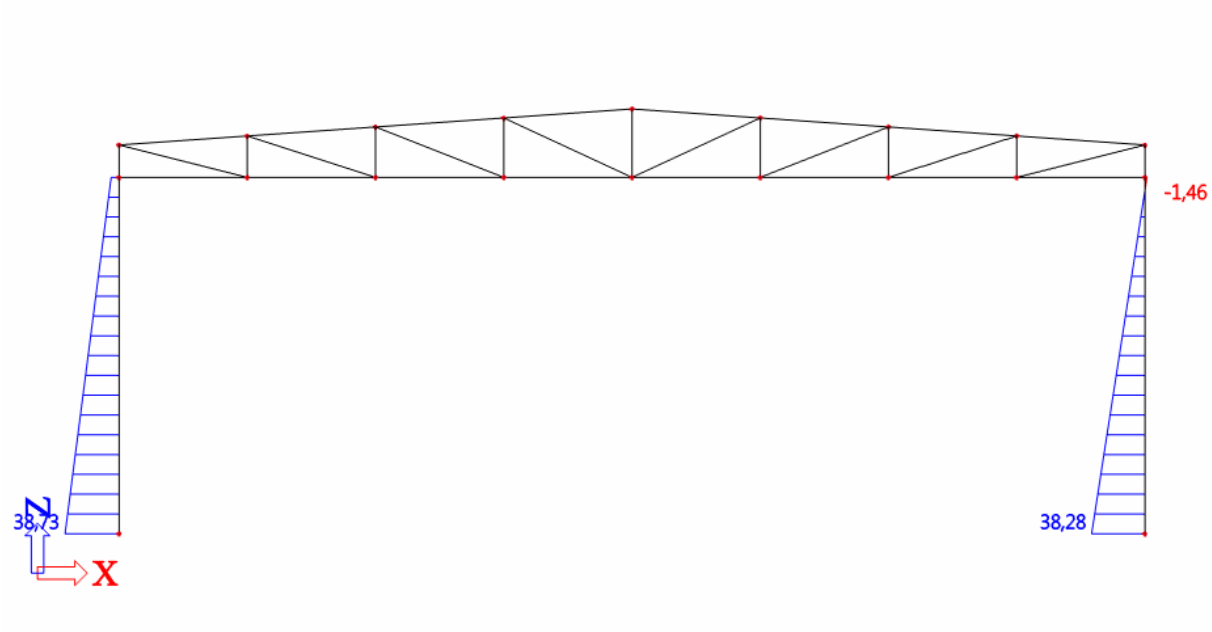
3.2.4. Opterećenje vjetrom W1

M (kNm)



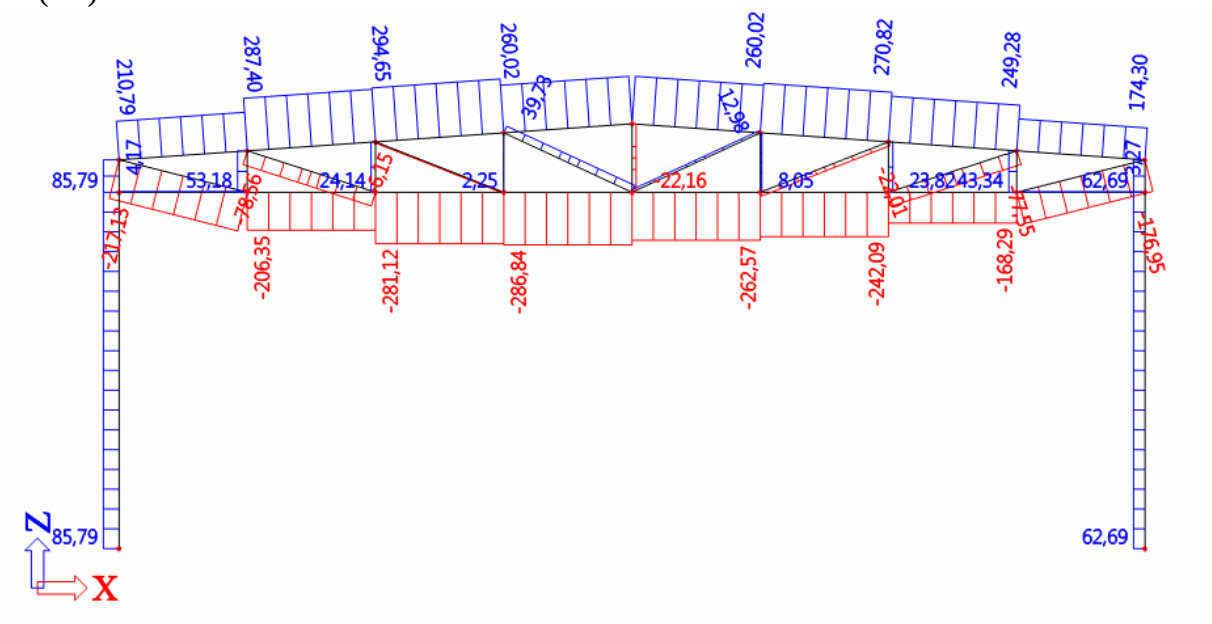
Slika 3.2.10. Momentni dijagram opterećenja vjetrom W1

V (kN)



Slika 3.2.11. Dijagram poprečnih sila opterećenja vjetrom W1

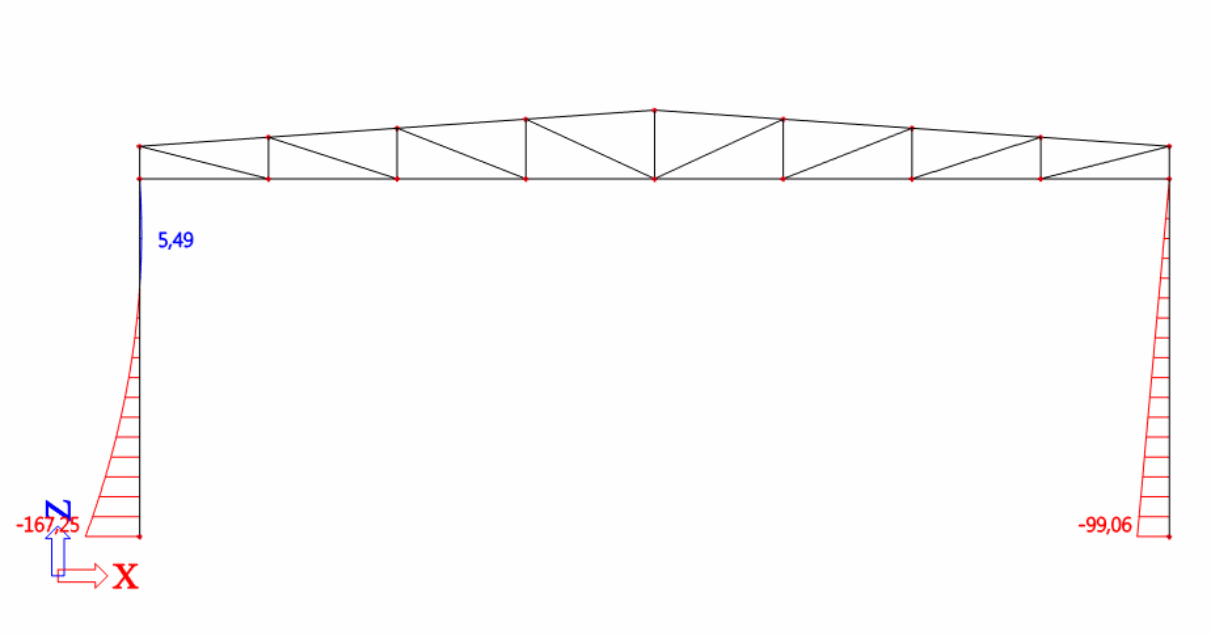
N (kN)



Slika 3.2.12. Dijagram uzdužnih sila opterećenja vjetrom W1

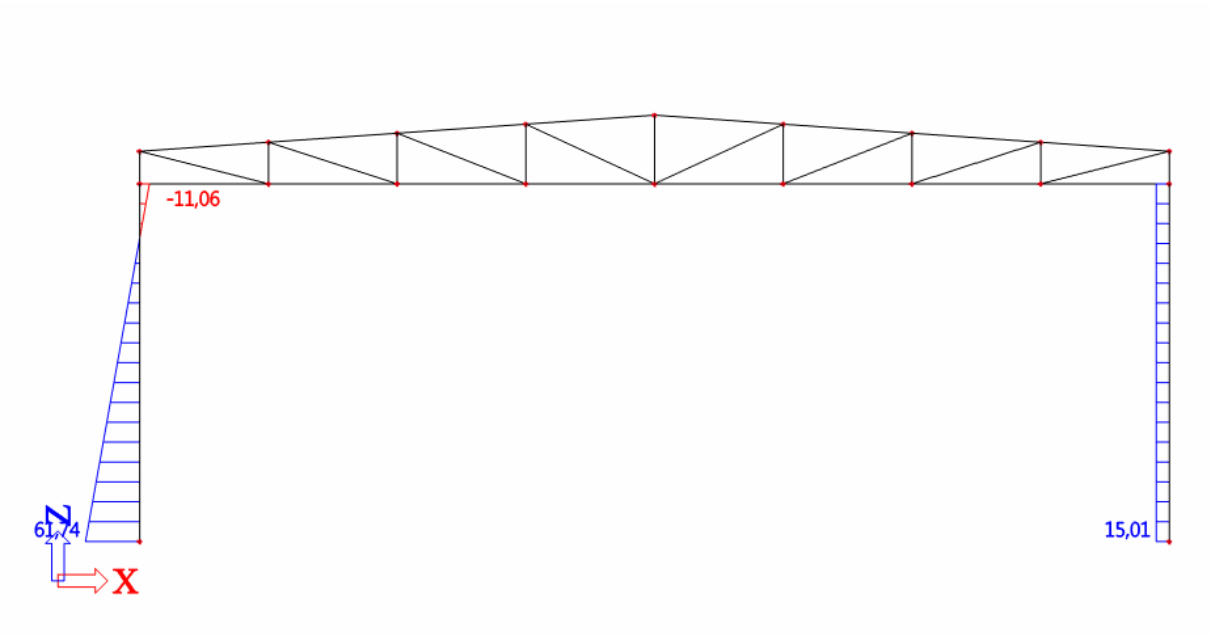
3.2.5. Opterećenje vjetrom W2

M (kNm)



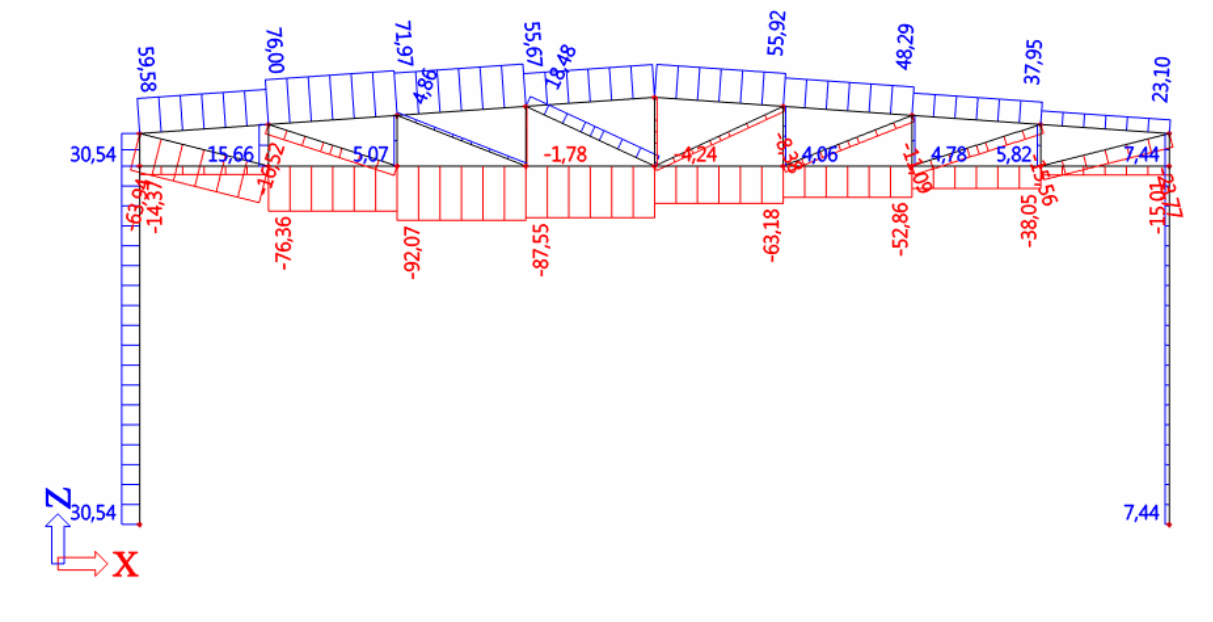
Slika 3.2.13. Momentni dijagram opterećenja vjetrom W2

V (kN)



Slika 3.2.14. Dijagram poprečnih sila opterećenja vjetrom W2

N (kN)



Slika 3.2.15. Dijagram uzdužnih sila opterećenja vjetrom W2

4. KONTROLA PROGIBA (GSU)

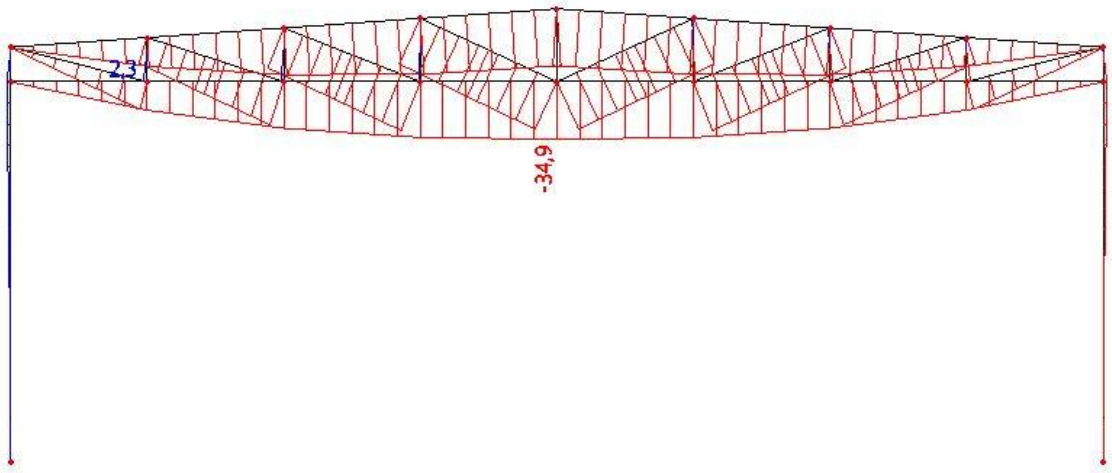
Kod graničnog stanja uporabljivosti provjerava se vertikalni progib rešetke u sredini koji ne smije prekoračiti vrijednost od L/150, pri čemu je L duljina donjeg pojasa rešetke i horizontalni pomak na vrhu stupa koji ne smije prekoračiti vrijednost H/250 pri čemu je H visina stupa. Parcijalni koeficijenti sigurnosti kod kontrole GSU su jednaki jedinici.

4.1. VERTIKALNI PROGIB U SREDINI DONJEG POJASA REŠETKE

Mjerodavna kombinacija (1.00* vl. težina + 1.00*stalni teret + 1.00*snijeg):

Prikaz plana pomaka za navedenu kombinaciju :

Napomena : vrijednost progiba u mm



Slika 4.1.1. Vertikalni pomak rešetke

Najveći progib δ_{max}=3,49 cm je manji od dopuštenog L/300=1900/300=6,33 cm !

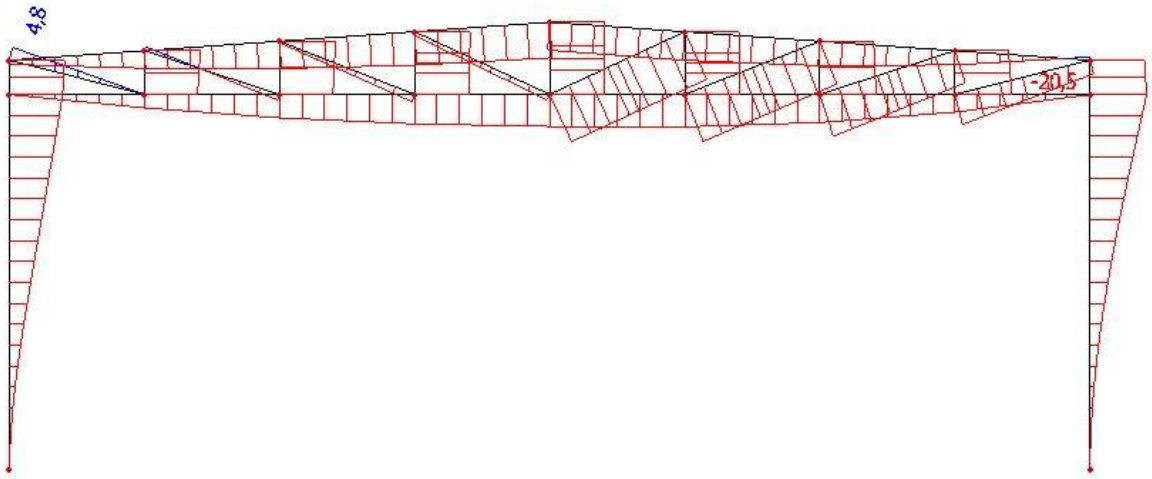
Iskoristivost 55,1 %.

4.2. HORIZONTALNI POMAK VRHA STUPA

Mjerodavna kombinacija (1.00* vl. težina + 1.00*stalni teret + 1.00*vjetar W2):

Prikaz plana pomaka za navedenu kombinaciju :

Napomena : vrijednost pomaka u mm



Slika 4.2.1. Horizontalni pomak rešetke

Najveći pomak δ_{max}=2,05 cm je manji od dopuštenog H/300=660/300=2,2 cm !

Iskoristivost 93,18 %.

Granično stanje uporabljivosti je zadovoljeno !

5. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA

5.1. DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNE KONSTRUKCIJE

5.1.1. KROVNE PODROŽNICE

1. kritična kombinacija(*1,35Xstalno opterećenje + 1,5Xsnijeg*):

$$M_y = k \cdot \left(\frac{G}{2}\cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + \frac{S}{2}\cos 4{,}02 \cdot 1{,}5\right) \cdot L^2$$

$$M_y = 0{,}1057 \cdot (0{,}66\cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 0{,}76\cos 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 10{,}79\ kNm$$

$$V_z = k_R \cdot \left(\frac{G}{2}\cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + \frac{S}{2}\cos 4{,}02 \cdot 1{,}5\right) \cdot L$$

$$V_z = 1{,}1341 \cdot (0{,}66\cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 0{,}76\cos 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 16{,}31\ kN$$

$$M_Z = k \cdot \left(\frac{G}{2}\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + \frac{S}{2}\sin 4{,}02 \cdot 1{,}5\right) \cdot L^2$$

$$M_Z = 0{,}1057 \cdot (0{,}66\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 0{,}76\sin 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 0{,}8\ kNm$$

$$V_y = k_R \cdot \left(\frac{G}{2}\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + \frac{S}{2}\sin 4{,}02 \cdot 1{,}5\right) \cdot L$$

$$V_y = 1{,}1341 \cdot (0{,}66\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 0{,}76\sin 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 1{,}15\ kN$$

Mjerodavna 2. kritična kombinacija(*1,00Xstalno opterećenje + 1,5Xvjetar*):

$$M_y = k \cdot \left(-\frac{G}{2}\cos 3{,}43 \cdot 1{,}00 + W \cdot 1{,}5\right) \cdot L^2$$

$$M_y = 0{,}1057 \cdot (-0{,}66\cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + 3{,}34 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 23{,}19\ kNm$$

$$V_z = k_R \cdot \left(-\frac{G}{2}\cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + W \cdot 1{,}5\right) \cdot L$$

$$V_z = 1{,}1341 \cdot (-0{,}66\cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + 3{,}34 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 35{,}04kN$$

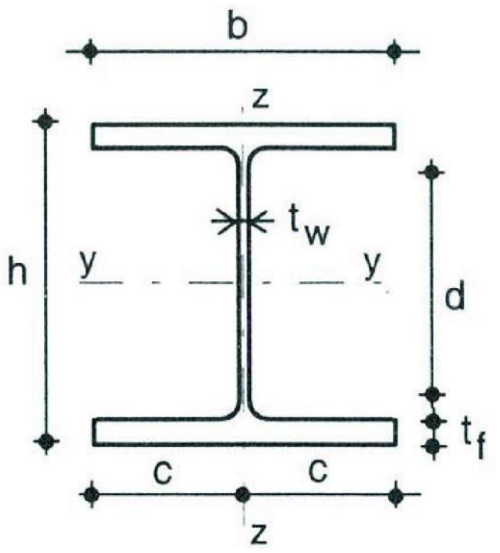
$$M_Z = k \cdot \left(\frac{G}{2}\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35\right) \cdot L^2$$

$$M_Z = 0{,}1057 \cdot (0{,}66\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35) \cdot 7{,}1^2 = 0{,}33kNm$$

$$V_y = k_R \cdot \left(\frac{G}{2}\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35\right) \cdot L$$

$$V_y = 1{,}1341 \cdot (0{,}66\sin 4{,}02 \cdot 1{,}35) \cdot 7{,}1 = 0{,}50\ kN$$

$$N_{sd} = 158{,}12\ kN(tlak)$$

	$M_{y,sd} = 23,19kNm$
	$V_{z,sd} = 35,04kN$
	$M_{z,sd} = 0,33kNm$
	$V_{y,sd} = 0,50kN$
	$N_{sd} = 158,12kN(tlak)$

Odabrani profil	**HEA 200**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina pop. presjeka	**A**	54,68 cm^2
	$\mathbf{A_z}$	13,83cm^2
	$\mathbf{A_y}$	41,75cm^2
Momenti tromosti:	$\mathbf{I_y}$	3712,62cm^4
	$\mathbf{I_z}$	1335,71 cm^4
Momenti otpora:	$\mathbf{W_{el,y}}$	390,8 cm^3
	$\mathbf{W_{pl,y}}$	433,1 cm^3
	$\mathbf{W_{el,z}}$	133,57 cm^3
	$\mathbf{W_{pl,z}}$	204,17 cm^3
Radijusi tromosti:	$\mathbf{i_y}$	8,24 cm
	$\mathbf{i_z}$	4,94 cm
Konstanta krivljenja	$\mathbf{I_w}$	108000,0cm^6
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	22,2 cm^4
Visina presjeka	**h**	190,0 mm
Širina pojasnice	**b**	200,0 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	10,0 mm
Ravni dio hrpta	**d**	134,0 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	7,0 mm
Osnovni materijal		
Granica popuštanja	$\mathbf{f_y}$	235,0 N/mm^2
Vlačna čvrstoća	$\mathbf{f_u}$	360,0 N/mm^2
Modul elastičnosti	**E**	210000,0 N/mm^2
Poissonov koeficijent	**ν**	0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w}=\frac{134,0}{7}=19,14<33\,\varepsilon=33\rightarrow klasa\ I\ \text{Fe-360}\ \rightarrow \varepsilon=1,0$$

$$a=\frac{N_{Sd}}{2\times t_w\times\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}=\frac{158,12}{2\times 7,0\times\frac{23,5}{1,1}}=0,53\,cm$$

$$\alpha=\frac{1}{d}\times\left(\frac{d}{2}+a\right)=\frac{1}{13,4}\times\left(\frac{13,4}{2}+5,3\right)=0,89$$

$$\alpha=0,89\rightarrow \alpha>0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w}\le 396\times\frac{\varepsilon}{13\times\alpha-1}=396\times\frac{1}{13\times 0,89-1}=37,26\rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f}=\frac{100,0}{10,0}=10,0;\quad c=\frac{b}{2}=\frac{200}{2}=100$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f}\le 10\times\varepsilon=10\rightarrow \text{zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

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

Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila N_{sd}

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{54,68 \times 23,5}{1,1} = 1168,19 \text{ kN} \quad \geq N_{sd}=158,12 \text{ kN}$$

Moment savijanja $M_{y,sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{433,1 \times 23,5}{1,1} = 92,53 \text{ kNm} \quad \geq M_{y,sd}=23,19 \text{ kNm}$$

Moment savijanja $M_{y,sd}$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{204,17 \times 23,5}{1,1} = 43,62 \text{ kNm} \quad \geq M_{z,sd}=0,33 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{y,sd}$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{41,75 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 514,96\,kN \quad \geq \quad V_{y,Sd} = 0,50\,kN$$

Poprečna sila $V_{z,sd}$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19,14 \quad \leq \quad 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$V_{Z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{13,29 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 163,92kN \quad \geq \quad V_{Z,Sd} = 39,97\,kN$$

Interakcija M - N -V

$$\left(\frac{M_{N.V.y.Rd}}{M_{y,Rd}} \right) = 1,0$$

$M_{N,V,Y,Rd}$ = 92,53 kNm

$$\left(\frac{M_{N.V.Z.Rd}}{M_{Z,Rd}} \right) = 1,0$$

$M_{N,V,Z.,Rd}$ = 43,62 kNm

$$\left(\frac{M_{.y.Sd}}{M_{N.V.Y.,Rd}}\right)^2+\left(\frac{M_{Z,Sd}}{M_{N.V.Z,Rd}}\right)=\left(\frac{23,19}{92,53}\right)^2+\left(\frac{0,33}{43,62}\right)=0,070<1,0$$

Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema χ postupku:

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

Dužine izvijanja: $l_{iy}=710\,cm$ $l_{iy}=710\,cm$

Efektivna vitkost: $\lambda_y=\frac{l_{iy}}{i_y}=\frac{710}{8,24}=86,17$; $\lambda_z=\frac{l_{iz}}{i_z}=\frac{710}{94}=143,66$

Svedena vitkost: $\overline{\lambda}=\frac{\lambda}{\lambda_1}\times\sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1==\pi\times\sqrt{\frac{E}{f_y}}=93,9$; $\beta_a=1,00$

$\overline{\lambda_y}=\frac{\lambda_y}{\lambda_1}\times\sqrt{\beta_a}=\frac{86,17}{93,9}\times\sqrt{1,0}=0,918$

$\overline{\lambda_z}=\frac{\lambda_z}{\lambda_1}\times\sqrt{\beta_a}=\frac{143,66}{93,9}\times\sqrt{1,0}=1,53$

Mjerodavna linija izvijanja:

$\frac{h}{b}=\frac{190}{200}=0,95<1,2$

t_f = 10 mm < 100 mm

Os y-y $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja b: $\overline{\lambda_y}=0,918$

Os z-z $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja c: $\overline{\lambda_z}=1,53$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y=0,6499$; $\chi_z=0,3051\rightarrow\chi_{\min}=0,3051$

$N_{b,Rd}=\chi_{\min}\times N_{c,Rd}$ =0,3051 x 1168,19 = 356,43 kN

$N_{Sd}\le N_{b,Rd}\rightarrow 158,12kN<356,43kN$

Otpornost elemenata na bočno izvijanje

- $g = -\frac{h}{2} = -\frac{19,0}{2} = 9,50\ cm$; L=710 cm

$$G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 kN/cm^2$$

- na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja podrožnice imamo sljedeće koeficijente :

k=1,0 ; k_w=1,0 ; C_1=1,285 ; C_2=1,562

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left(C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

M_{cr}=281,52 kNm

-Relativna vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,60 \geq 0,4 \text{ ; } (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a: $\chi_{LT} = 0,8695$ - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 82,3\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$

23,19kNm < 82,3 kNm

Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min}\times\frac{A\times f_y}{\gamma_{M1}}}+\frac{k_y\times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y}\times f_y}{\gamma_{M1}}}+\frac{k_z\times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z}\times f_z}{\gamma_{M1}}}\le 1$$

$$\beta_{M,y}=1{,}8-0{,}7\cdot\psi=1{,}8$$

Koeficijent $\beta_M=\beta_{M,y}+\frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q}-\beta_{M,y}\right)=1{,}8+\frac{20{,}75}{29{,}51}\left(1{,}3-1{,}8\right)=1{,}45$

$$\mu_y=\overline{\lambda_y}\times\left(2\times\beta_M-4\right)+\frac{W_{pl,y}-W_{el,y}}{W_{el,y}}=-0{,}259\le 0{,}9$$

$$k_y=1-\frac{\mu_y\times N_{Sd}}{\chi_y\times A\times f_y}=1{,}049$$

$$k_y=1{,}049\le 1{,}5$$

$$\beta_{M,z}=1{,}8-0{,}7\cdot\psi=1{,}8$$

Koeficijent $\beta_M=\beta_{M,z}+\frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q}-\beta_{M,z}\right)=1{,}8+\frac{0{,}36}{0{,}52}\left(1{,}3-1{,}8\right)=1{,}45$

$$\mu_z=\overline{\lambda_z}\times\left(2\times\beta_M-4\right)+\frac{W_{pl,z}-W_{el,z}}{W_{el,z}}=-0{,}083\le 0{,}9$$

$$k_z=1-\frac{\mu_z\times N_{Sd}}{\chi_z\times A\times f_z}=1{,}034<1{,}5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y\times\frac{A\times f_y}{\gamma_{M1}}}+\frac{k_y\times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y}\times f_y}{\gamma_{M1}}}+\frac{k_z\times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z}\times f_z}{\gamma_{M1}}}=\frac{158{,}12}{0{,}6499\times\frac{53{,}8\times 23{,}5}{1{,}1}}+\frac{1{,}05\times 23{,}19\times 100}{\frac{433{,}1\times 23{,}5}{1{,}1}}+\frac{1{,}03\times 0{,}33}{\frac{204{,}17\times 23{,}5}{1{,}1}}=$$

$$0{,}48\le 1{,}0$$

Interakcija M-N zadovoljava

Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_M - 0,15 = 0,15 \cdot 1,53 \cdot 1,45 - 0,15 = 0,183 \leq 0,9$$

Koeficijent $\beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}\right) = 1,8 + \frac{20,75}{29,51}\left(1,3 - 1,8\right) = 1,45$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{0,183 \times 182,12}{0,8895 \times 54,48 \times 23,5} = 0,926 < 1,0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{158,12}{0,3051 \times \frac{54,68 \times 23,5}{1,1}} + \frac{0,926 \times 23,19 \times 100}{0,8895 \times \frac{433,1 \times 23,5}{1,1}} + \frac{1,034 \times 0,33}{\frac{204,17 \times 23,5}{1,1}} =$$

$0,712 < 1,0$

Iskoristivost = 71,2%

Za krovne podrožnice usvajamo presjek HEA 200

2. Srednji nosač max. Moment savijanja, manja uzdužna sila

1. kritična kombinacija (*1,35Xstalno opterećenje + 1,5Xsnijeg*):

$M_y = k \cdot (G \cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + S \cos 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot L^2$

$M_y = 0{,}1057 \cdot (1{,}31 \cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 1{,}52 \cos 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 21{,}52\ kNm$

$V_z = k_R \cdot (G \cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + S \cos 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot L$

$V_z = 1{,}1341 \cdot (1{,}31 \cos 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 1{,}52 \cos 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 32{,}52\ kN$

$M_Z = k \cdot (G \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + S \sin 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot L^2$

$M_Z = 0{,}1057 \cdot (1{,}31 \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 1{,}52 \sin 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 1{,}51\ kNm$

$V_y = k_R \cdot (G \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + S \sin 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot L$

$V_y = 1{,}1341 \cdot (1{,}31 \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35 + 1{,}52 \sin 4{,}02 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 2{,}29\ kN$

Mjerodavna 2. kritična kombinacija(*1,00Xstalno opterećenje + 1,5Xvjetar*):

$M_y = k \cdot (-G \cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + W \cdot 1{,}5) \cdot L^2$

$M_y = 0{,}1057 \cdot (-1{,}31 \cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + 3{,}34 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 19{,}73\ kNm$

$V_z = k_R \cdot (-G \cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + W \cdot 1{,}5) \cdot L$

$V_z = 1{,}1341 \cdot (-1{,}31 \cos 4{,}02 \cdot 1{,}00 + 3{,}34 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 29{,}82kN$

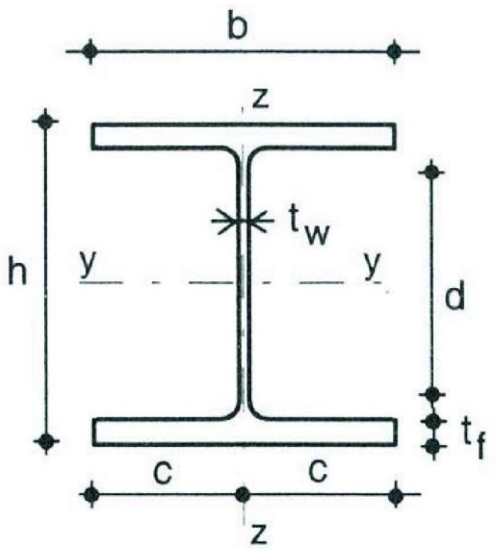
$M_Z = k \cdot (G \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35) \cdot L^2$

$M_Z = 0{,}1057 \cdot (1{,}31 \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35) \cdot 7{,}1^2 = 0{,}66kNm$

$V_y = k_R \cdot (G \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35) \cdot L$

$V_y = 1{,}1341 \cdot (1{,}31 \sin 4{,}02 \cdot 1{,}35) \cdot 7{,}1 = 1{,}00\ kN$

$N_{sd} = 118{,}16\ kN(tlak)$

	$M_{y,sd} = 19,73kNm$
	$V_{z,sd} = 29,82kN$
	$M_{z,sd} = 0,66kNm$
	$V_{y,sd} = 1,00kN$
	$N_{sd} = 118,16kN(tlak)$

Odabrani profil	**HEA 200**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina pop. presjeka	**A**	54,68 cm^2
	$\mathbf{A_z}$	13,83cm^2
	$\mathbf{A_y}$	41,75cm^2
Momenti tromosti:	$\mathbf{I_y}$	3712,62cm^4
	$\mathbf{I_z}$	1335,71 cm^4
Momenti otpora:	$\mathbf{W_{el,y}}$	390,8 cm^3
	$\mathbf{W_{pl,y}}$	433,1 cm^3
	$\mathbf{W_{el,z}}$	133,57 cm^3
	$\mathbf{W_{pl,z}}$	204,17 cm^3
Radijusi tromosti:	$\mathbf{i_y}$	8,24 cm
	$\mathbf{i_z}$	4,94 cm
Konstanta krivljenja	$\mathbf{I_w}$	108000,0cm^6
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	22,2 cm^4
Visina presjeka	**h**	190,0 mm
Širina pojasnice	**b**	200,0 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	10,0 mm
Ravni dio hrpta	**d**	134,0 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	7,0 mm
Osnovni materijal		
Granica popuštanja	$\mathbf{f_y}$	235,0 N/mm^2
Vlačna čvrstoća	$\mathbf{f_u}$	360,0 N/mm^2
Modul elastičnosti	**E**	210000,0 N/mm^2
Poissonov koeficijent	**ν**	0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134,0}{7} = 29,14 < 33\,\varepsilon = 33 \rightarrow klasa\ I \text{ Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{Sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{118,16}{2 \times 7,0 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,79\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{13,4} \times \left(\frac{13,4}{2} + 0,79 \right) = 0,79$$

$$\alpha = 0,79 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \le 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,79 - 1} = 42,43 \rightarrow \text{ zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = \frac{100,0}{10,0} = 10,0; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{200}{2} = 100$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} \le 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{ zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu I.

Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila N_{sd}

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{54,68 \times 23,5}{1,1} = 1168,19 \text{ kN} \quad \geq N_{sd}=118,16\text{kN}$$

Moment savijanja $M_{y,sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{433,1 \times 23,5}{1,1} = 92,53 \text{ kNm} \quad \geq M_{y,sd}=19,73 \text{ kNm}$$

Moment savijanja $M_{y,sd}$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{204,17 \times 23,5}{1,1} = 43,62 \text{ kNm} \quad \geq M_{z,sd}=0,66 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{y,sd}$

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{41,75 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 514,96\, kN \quad \geq \quad V_{y,Sd} = 1,00\, kN$$

Poprečna sila $V_{z,sd}$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{7} = 19,14 \quad \leq \quad 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$V_{Z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{13,83 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 170,61 kN \quad \geq \quad V_{Z,Sd} = 29,57\, kN$$

Interakcija M - N -V

$$\left(\frac{M_{N.V.y.Rd}}{M_{y,Rd}} \right) = 1,0$$

$M_{N,V,Y,Rd}$ = 92,53 kNm

$$\left(\frac{M_{N.V.Z.Rd}}{M_{Z,Rd}} \right) = 1,0$$

$M_{N,V,Z.,Rd}$ = 43,62 kNm

$$\left(\frac{M_{.y.Sd}}{M_{N.V.Y.,Rd}}\right)^2+\left(\frac{M_{Z,Sd}}{M_{N.V.Z,Rd}}\right)=\left(\frac{19,73}{92,53}\right)^2+\left(\frac{0,66}{43,62}\right)=0,061<1,0$$

Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema χ postupku

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

Dužine izvijanja: $l_{iy}=710\,cm$ $l_{iy}=710\,cm$

Efektivna vitkost: $\lambda_y=\frac{l_{iy}}{i_y}=\frac{710}{8,24}=86,17$; $\lambda_z=\frac{l_{iz}}{i_z}=\frac{710}{4,94}=143,66$

Svedena vitkost: $\overline{\lambda}=\frac{\lambda}{\lambda_1}\times\sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1==\pi\times\sqrt{\frac{E}{f_y}}=93,9$; $\beta_a=1,00$

$\overline{\lambda_y}=\frac{\lambda_y}{\lambda_1}\times\sqrt{\beta_a}=\frac{86,17}{93,9}\times\sqrt{1,0}=0,918$

$\overline{\lambda_z}=\frac{\lambda_z}{\lambda_1}\times\sqrt{\beta_a}=\frac{143,66}{93,9}\times\sqrt{1,0}=1,53$

Mjerodavna linija izvijanja:

$\frac{h}{b}=\frac{190}{200}=0,95<1,2$

t_f = 10 mm < 100 mm

Os y-y $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja b: $\overline{\lambda_y}=0,918$

Os z-z $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja c: $\overline{\lambda_z}=1,53$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y=0,6499$; $\chi_z=0,3051\rightarrow\chi_{\min}=0,3051$

$N_{b,Rd}=\chi_{\min}\times N_{c,Rd}$ =0,3051 x 1168,19 = 358,43 kN

$N_{Sd}\le N_{b,Rd}\rightarrow 118,16kN<358,43kN$

Otpornost elemenata na bočno izvijanje

- $g = -\frac{h}{2} = -\frac{19,0}{2} = 9,50\ cm$; L=710 cm

$$G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 kN/cm^2$$

- na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja stupa imamo sljedeće koeficijente :

k=1,0 ; k_w=1,0 ; C_1=1,285 ; C_2=1,562

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left(C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

M_{cr}=281,52 kNm

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,601 \geq 0,4 \text{ ; } (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a: $\chi_{LT} = 0,8895$ - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 82,3\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$

19,73kNm < 82,3 kNm

Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\beta_{M,y} = 1{,}8 - 0{,}7 \cdot \psi = 1{,}8$$

Koeficijent $\beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}\right) = 1{,}8 + \frac{21{,}24}{30{,}23}\left(1{,}3 - 1{,}8\right) = 1{,}45$

$$\mu_y = \overline{\lambda_y} \times \left(2 \times \beta_M - 4\right) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = -0{,}259 \le 0{,}9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1{,}037$$

$$k_y = 1{,}037 \le 1{,}5$$

$$\beta_{M,z} = 1{,}8 - 0{,}7 \cdot \psi = 1{,}8$$

Koeficijent $\beta_M = \beta_{M,z} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,z}\right) = 1{,}8 + \frac{0{,}74}{1{,}05}\left(1{,}3 - 1{,}8\right) = 1{,}45$

$$\mu_z = \overline{\lambda_z} \times \left(2 \times \beta_M - 4\right) + \frac{W_{pl,z} - W_{el,z}}{W_{el,z}} = -0{,}083 \le 0{,}9$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \times N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_z} = 1{,}025 < 1{,}5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{106{,}80}{0{,}5719 \times \frac{53{,}8 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}21 \times 17{,}98 \times 100}{\frac{429{,}17 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}5 \times 0{,}62}{\frac{203{,}75 \times 23{,}5}{1{,}1}} =$$

$$0{,}40 \le 1{,}0$$

Interakcija M-N zadovoljava

Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

$$\mu_{LT} = 0{,}15 \cdot \overline{\lambda_z} \cdot \beta_{M,LT} - 0{,}15 = 0{,}15 \cdot 1{,}73 \cdot 1{,}45 - 0{,}15 = 0{,}226 \le 0{,}9$$

Koeficijent $\beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}\right) = 1{,}8 + \frac{0{,}74}{1{,}05}\left(1{,}3 - 1{,}8\right) = 1{,}45$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{0{,}226 \times 106{,}8}{0{,}8614 \times 53{,}8 \times 23{,}5} = 0{,}98 < 1{,}0$$

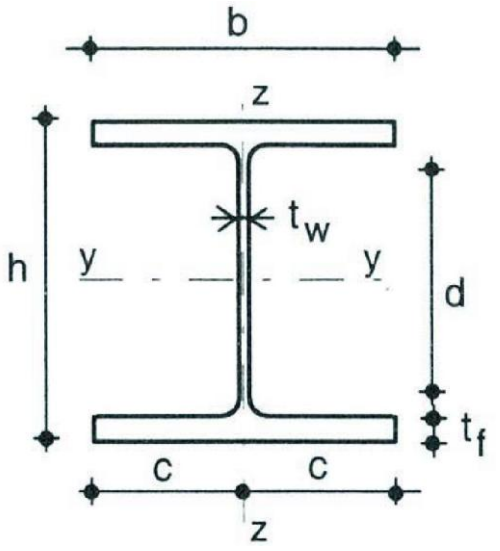
$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{\frac{W_{pl,z} \times f_z}{\gamma_{M1}}} = \frac{118{,}16}{0{,}3051 \times \frac{54{,}68 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{0{,}926 \times 23{,}19 \times 100}{0{,}8895 \times \frac{433{,}1 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}034 \times 0{,}33}{\frac{204{,}17 \times 23{,}5}{1{,}1}} =$$

$$0{,}574 < 1{,}0$$

Iskoristivost = 57,4 %

Za krovne podrožnice usvajamo presjek HEA 200

5.1.2. BOČNE PODROŽNICE



$$M_{y,sd} = k \cdot (W \cdot 1{,}5) \cdot L^2$$

$$M_{y,sd} = 0{,}1057 \cdot (2{,}50 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1^2 = 19{,}98 kNm$$

$$V_{z,sd} = k \cdot (W \cdot 1{,}5) \cdot L$$

$$V_{z,sd} = 1{,}134 \cdot (2{,}50 \cdot 1{,}5) \cdot 7{,}1 = 30{,}19 kN$$

N_{sd}=161,10 kN

Odabrani profil	**HEA 180**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina pop. presjeka	**A**	51,32 cm^2
	A_z	10,67cm^2
	A_y	37,98cm^2
Momenti tromosti:	**I_y**	2811,62cm^4
	I_z	398,97 cm^4
Momenti otpora:	**$W_{el,y}$**	328,848 cm^3
	$W_{pl,y}$	367,47 cm^3
	$W_{el,z}$	108,78 cm^3
	$W_{pl,z}$	169,01 cm^3
Radijusi tromosti:	**i_y**	7,4 cm
	i_z	4,37 cm
Konstanta krivljenja	**I_w**	62988,03cm^6
Torzijska konstanta	**I_t**	29,36 cm^4
Visina presjeka	**h**	171,0 mm
Širina pojasnice	**b**	180,0 mm
Debljina pojasnice	**t_f**	10,0 mm
Ravni dio hrpta	**d**	121,0 mm
Debljina hrpta	**t_w**	6,0 mm
Osnovni materijal		
Granica popuštanja	**f_y**	235,0 N/mm^2
Vlačna čvrstoća	**f_u**	360,0 N/mm^2
Modul elastičnosti	**E**	210000,0 N/mm^2
Poissonov koeficijent	**ν**	0,3

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121,0}{6} = 20,17 < 33\,\varepsilon = 33 \rightarrow klasa\ I \text{ Fe-360} \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{Sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{128,79}{2 \times 6,0 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,502\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{12,1} \times \left(\frac{12,1}{2} + 0,502 \right) = 0,54$$

$$\alpha = 0,54 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \le 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,54 - 1} = 65,78 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = \frac{90,0}{10,0} = 9,0\,; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{180}{2} = 90$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$$\frac{c}{t_f} \le 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Pojasnica je klase I.

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

Otpornost poprečnog presjeka

Uzdužna sila N_{sd}

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45{,}3 \times 23{,}5}{1{,}1} = 967{,}77 \text{ kN} \quad \geq N_{sd} = 128{,}79 \text{kN}$$

Moment savijanja $M_{y,sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{325 \times 23{,}5}{1{,}1} = 69{,}43 \text{ kNm} \quad \geq M_{y,sd} = 13{,}84 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{z,sd}$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{121}{6} = 20{,}17 \quad \leq \quad 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$V_{Z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10{,}99 \cdot 23{,}5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 135{,}55 kN \quad \geq \quad V_{Z,Sd} = 18{,}32 \; kN$$

Interakcija M - N -V

Poprečna sila :
$V_{z,Sd} = 18{,}32$ kN

Uvjet:
$V_{z,Sd} < 0{,}5 \times V_{pl,z,Rd} = 67{,}78$kN

Razina uzdužne sile:
$N_{Sd} = 128{,}79$ kN

$N_{Sd} < 0{,}25 \times N_{pl,Rd}$ – uvjet niske razine uzdužne sile

$128{,}79 < 0{,}25 \times 967{,}77 = 241{,}94$ kN $\rightarrow$ zadovoljava

Za nisku razinu uzdužne sile i za $V_{Sd} < 0{,}5 \times V_{pl}$ vrijedi:

$$\frac{M_{N.V.y.Rd}}{M_{y,Rd}} = 1{,}0 \rightarrow M_{N.V.y.Rd} \rightarrow 69{,}43 \text{ kNm}$$

Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema χ postupku

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

Dužine izvijanja: $l_{iy} = 810\ cm$ $l_{iy} = 810\ cm$

Efektivna vitkost: $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{810}{7,4} = 109,46$; $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{810}{4,5} = 180,00$

Svedena vitkost: $\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1 = = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9$; $\beta_a = 1,00$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{109,46}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,17$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{180}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 1,92$

Mjerodavna linija izvijanja:

$\frac{h}{b} = \frac{171}{180} = 0,95 > 1,2$

t_f = 10 mm < 100 mm

Os y-y $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja b: $\overline{\lambda_y} = 1,17$

Os z-z $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja c: $\overline{\lambda_z} = 1,92$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y = 0,4947$; $\chi_z = 0,2104 \rightarrow \chi_{\min} = 0,2104$

$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd}$ =0,2104 x 967,77 = 203,62 kN

$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 128,79kN < 203,62kN$

Otpornost elemenata na bočno izvijanje

- $g = -\frac{h}{2} = -\frac{17,1}{2} = 8,55\ cm$; L=810 cm

$$G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077 kN/cm^2$$

- na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja stupa imamo sljedeće koeficijente :

k=1,0 ; k_w=1,0 ; C_1=1,285 ; C_2=1,562

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left(C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

M_{cr} =146,07kNm

-Relativna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,69 \geq 0,4 \text{ ; } (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a: $\chi_{LT} = 0,8524$ - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 53,54\ kNm$$

Uvjet nosivosti:

$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$

13,84kNm < 53,54 kNm

Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Koeficijent $\beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}\right) = 1{,}8 + \frac{16{,}40}{23{,}32}\left(1{,}3 - 1{,}8\right) = 1{,}45$

$$\mu_y = \overline{\lambda_y} \times \left(2 \times \beta_M - 4\right) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 1{,}17 \times (2 \times 1{,}45 - 4) + \frac{325 - 294}{294} = -1{,}182 \le 0{,}9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{-1{,}182 \times 128{,}79}{0{,}4947 \times 45{,}3 \times 23{,}5} = 1{,}29$$

$$k_y = 1{,}00 \le 1{,}5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{128{,}79}{0{,}4947 \times \frac{45{,}3 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}29 \times 13{,}84 \times 100}{\frac{325 \times 23{,}5}{1{,}1}} = 0{,}52 \le 1{,}0$$

Interakcija M-N zadovoljava

Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

$$\mu_{LT} = 0{,}15 \cdot \overline{\lambda_z} \cdot \beta_M - 0{,}15 = 0{,}15 \cdot 0{,}2104 \cdot 1{,}45 - 0{,}15 = -0{,}104 \le 0{,}9$$

Koeficijent $\beta_M = \beta_{M,y} + \frac{M_Q}{\Delta M}\left(\beta_{M,Q} - \beta_{M,y}\right) = 1{,}8 + \frac{16{,}215}{23{,}07}\left(1{,}3 - 1{,}8\right) = 1{,}45$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{-0{,}104 \times 128{,}79}{0{,}8524 \times 45{,}3 \times 23{,}5} = 1{,}01 \rightarrow k_{LT} = 1{,}0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{128{,}79}{0{,}2104 \times \frac{45{,}3 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}0 \times 13{,}84 \times 100}{0{,}8524 \times \frac{325 \times 23{,}5}{1{,}1}} = 0{,}866 < 1{,}0$$

Iskoristivost = 86,6%

Za bočne podrožnice usvajamo presjek HEA 180

5.1.3. KROVNI SPREGOVI

N_{sd}=143,41 kN

$$N_{\boldsymbol{sd}} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} => A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} \geq \frac{1{,}1 \cdot 143{,}41}{23{,}5} \geq 6{,}713\ cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} => d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 6{,}713}{\pi}} \geq 2{,}92\ cm$$

$$\boldsymbol{d_{odabrano} = 30mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{3{,}0^2 \cdot \pi}{4} = 7{,}07 cm^2$$

$$N_{\boldsymbol{Rd}} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7{,}07 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 151{,}01\ kN > N_{sd} = 143{,}41\ kN$$

Za krovne spregove odabran profil Ø30

5.1.4. BOČNI SPREGOVI

N_{sd}=175,46 kN

$$N_{sd} \leq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} => A \geq \frac{\gamma_{M0} \cdot N_{sd}}{f_y} \geq \frac{1{,}1 \cdot 175{,}46}{23{,}5} \geq 8{,}213 cm^2$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} => d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 8{,}213}{\pi}} \geq 3{,}23\ cm$$

$$\boldsymbol{d_{odabrano} = 34mm}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{3{,}4^2 \cdot \pi}{4} = 9{,}08\ cm^2$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9{,}08 \cdot 23{,}5}{1{,}1} = 193{,}96\ kN > N_{sd} = 175{,}46\ kN$$

Za bočne spregove odabran profil Ø34

5.2. DIMENZIONIRANJE STUPOVA KONSTRUKTIVNOG SUSTAVA

Za sve stupove konstruktivnog sustava usvajamo isti profil poprečnog presjeka !

Maksimalne rezne sile u lijevom stupu (kritičnijem)

Mjerodvna kritična kombinacija *(vlastita težina nosača + stalni teret + vjetar W2* **)**
(Napomena : Izveden je proračun i za kombinaciju *vlastita težina nosača+stalni teret+snijeg*, ali budući je kritičnija gore navedena kombinacija onda je i za tu kombinaciju prikazan proračun.)

$$M_{y,sd} = 1{,}5 \cdot M_{W2} - 1{,}0 \cdot M_{vl.tež.} - 1{,}0 \cdot M_G = 1{,}5 \cdot 167{,}25 - 1{,}0 \cdot 1{,}74 - 1{,}0 \cdot 8{,}29 = 240{,}85\ kNm$$

$$V_{z,sd} = 1{,}5 \cdot V_{W2} - 1{,}0 \cdot V_{vl.tež.} - 1{,}0 \cdot V_G = 1{,}5 \cdot 61{,}74 - 1{,}0 \cdot 0{,}26 - 1{,}0 \cdot 1{,}26 = 91{,}09\ kN$$

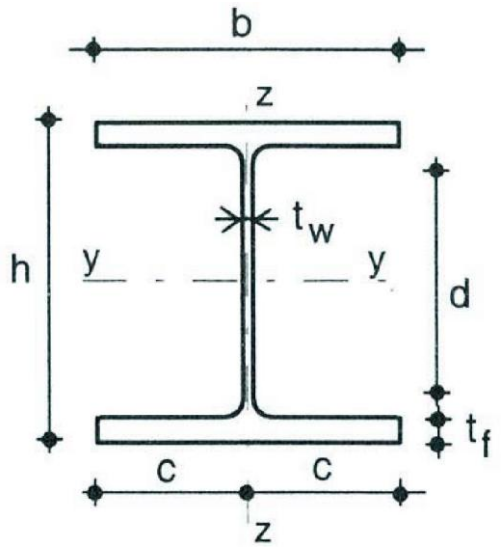
$$N_{sd} = 1{,}5 \cdot N_{W2} - 1{,}0 \cdot N_{vl.tež.} - 1{,}0 \cdot N_{S,G} = 1{,}5 \cdot 30{,}54 - 1{,}0 \cdot 17{,}48 - 1{,}0 \cdot 37{,}16 = 8{,}83\ kN\ (TLAK)$$

$$N_{sd} = 1{,}35 \cdot N_G + 1{,}35 \cdot N_{vl.tež.} + 1{,}5 \cdot N_S = 1{,}35 \cdot 37{,}16 + 1{,}35 \cdot 17{,}48 + 1{,}5 \cdot 43{,}24 = 138{,}62 kN (TLAK)$$

Karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil	**HEB 340**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina pop. presjeka	**A**	170,9 cm²
Momenti tromosti:	$\mathbf{I_y}$	36660,0 cm^4
	$\mathbf{I_z}$	9690,0 cm^4
Momenti tromosti:	$\mathbf{W_{el,y}}$	2156,0 cm^3
	$\mathbf{W_{pl,y}}$	2156,0 cm^3
	$\mathbf{W_{el,z}}$	646,0 cm^3
	$\mathbf{W_{pl,z}}$	985,7 cm^3
Radijusi tromosti:	$\mathbf{i_y}$	14,65 cm
	$\mathbf{i_z}$	7,53 cm
Konstanta krivljenja	$\mathbf{I_w}$	2454628,625 cm^6
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	257,2 cm^4
Visina presjeka	**h**	340,0 mm
Širina pojasnice	**b**	300,0 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	21,5 mm
Ravni dio hrpta	**d**	134,0 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	12,0 mm
Osnovni materijal		
Granica popuštanja	$\mathbf{f_y}$	210000,0 N/mm^2
Vlačna čvrstoća	$\mathbf{f_u}$	360,0 N/mm^2
Modul elastičnosti	**E**	210000,0 N/mm^2
Poissonov koeficijent	**ν**	0,3

Skica poprečnog presjeka



Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{d}{t_w} = \frac{243,0}{21,5} = 11,30 < 33\,\varepsilon = 33 \rightarrow klasa\ I \text{ Fe-360} \quad \rightarrow \varepsilon = 1,0$$

$$a = \frac{N_{Sd}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{8,83}{2 \times 2,15 \times \frac{23,5}{1,1}} = 0,096\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{24,3} \times \left(\frac{24,3}{2} + 0,096 \right) = 0,504$$

$$\alpha = 0,504 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Uvjet za klasu presjeka I:

$$\frac{d}{t_w} \le 396 \times \frac{\varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 396 \times \frac{1}{13 \times 0,504 - 1} = 71,49 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Hrbat je klase I.

Pojasnica

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150,0}{21,5} = 6,98; \quad c = \frac{b}{2} = \frac{300}{2} = 150$$

Uvjet za klasu poprečnog presjeka I:

$\frac{c}{t_f} \leq 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow$ zadovoljava

Pojasnica je klase I.

Zaključak: Odabrani presjek je svrstan u klasu I.

Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{170,9 \times 23,5}{1,1} = 3651,05 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$N_{Sd} \leq N_{pl,Rd}$

8,83 kN $\leq$ 3651,05 kN $\rightarrow$ zadovoljava

Za kombinaciju vlastita težina nosača+stalni teret+snijeg ($N_{Sd}<N_{pl,Rd}$; 138,62<3651,05) također zadovoljava

- Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl.y} \times f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2683,0 \times 23,5}{1,1} = 573,19 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$M_{y,sd} \leq M_{c,Rd}$

240,85 kNm $\leq$ 573,19 kNm

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{d}{t_w} = \frac{243,0}{12,0} = 20,25 \quad \leq \quad 69 \cdot \varepsilon = 69$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta.

$$A_{v,z} = 1.04 \cdot h \cdot t_w = 1.04 \cdot 34,0 \cdot 1,20 = 42,43\, cm^2$$

$$V_{Z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{42,43 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 545,71\, kN \quad \geq \quad V_{Z,Sd} = 91,09\, kN$$

- Interakcija M - N -V

Poprečna sila :
$V_{z,Sd}$ = 91,09 kN

Uvjet:
$V_{z,Sd} < 0{,}5 \times V_{pl,z,Rd}$ = 272,86 kN

Razina uzdužne sile:
N_{Sd} =8,83 kN

$N_{Sd} < 0{,}25 \times N_{pl,Rd}$ – uvjet niske razine uzdužne sile

$4{,}31 < 0{,}25 \times 3651{,}05 = 312{,}76$ kN $\rightarrow$ zadovoljava

Za nisku razinu uzdužne sile i za $V_{Sd} < 0{,}5 \times V_{pl}$ vrijedi:

$$\frac{M_{N.V.y.Rd}}{M_{y,Rd}} = 1{,}0 \rightarrow M_{N.V.y.Rd} \rightarrow 573{,}19 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$M_{y,Sd} \leq M_{N.V.y.Rd}$
240,85 kNm < 573,19 kNm $\rightarrow$ zadovoljava

Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

Tlačna otpornost elementa (otpornost elementa na izvijanje)

Dokaz nosivosti prema χ postupku
$N_{b,Rd} = \chi \times N_{c,Rd}$

Dužine izvijanja: $l_{iy} = 2{,}0 \cdot H = 2{,}0 \cdot 660 = 1320\ cm$
l_{iz} =330 cm (razmak zidne sekundarne konstrukcije)

Efektivna vitkost: $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1320}{14,65} = 90,10$; $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{330}{7,53} = 43,82$

Svedena vitkost: $\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1 = = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9$; $\beta_a = 1,00$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{90,10}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,96$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{43,82}{93,9} \times \sqrt{1,0} = 0,47$

Mjerodavna linija izvijanja:

$\frac{h}{b} = \frac{340}{300} = 1,13 > 1,2$

t_f = 21,5 mm < 40 mm

Os y-y $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja a: $\overline{\lambda_y} = 0,96$

Os z-z $\rightarrow$ mjerodavna linija izvijanja b: $\overline{\lambda_z} = 0,47$

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y = 0,6990$; $\chi_z = 0,8901 \rightarrow \chi_{\min} = 0,6990$

$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \times N_{c,Rd}$ =0,6990 x 3651,05 = 2552,08 kN

$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 8,83kN < 2552,08kN$

Otpornost elemenata na bočno izvijanje

- g $= -\frac{h}{2} = -\frac{34}{2} = 17\ cm$; L=660 cm

$G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} = \frac{21000}{2,6} = 8077kN/cm^2$

- na osnovu oblika momentnog dijagrama i načina pridržanja stupa imamo sljedeće koeficijente :

k=0,7 ; k_w=0,7 ; C_1=2,092 ; C_2=0,0

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left(C_2 \times g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \times \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times g)^2} \right)$$

M_{cr}=3848,37 kNm

-Relativna vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = 0,43 \geq 0,4 \text{ ; } (\beta_w = 1,0 \text{ za klasu 1})$$

Mjerodavna linija izvijanja a: $\chi_{LT} = 0,9391$ - faktor redukcije

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \frac{\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = 482,71\, kNm$$

Uvjet nosivosti:

$M_{y,Sd} \leq M_{b,Rd}$
240,85 kNm < 482,71 kNm

Interakcija M-N (savijanje i uzdužna sila) bez problema bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Koeficijent $\beta_{My} = 1,8 - 0,7\,\psi = 1,8$

$$\mu_y = \overline{\lambda_y} \times (2 \times \beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} = 0,49 \times (2 \times 1,8 - 4) + \frac{2406 - 2156}{2156} = -0,08 \leq 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{Sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{-0{,}08 \times 8{,}83}{0{,}9751 \times 170{,}9 \times 23{,}5} = 1{,}00$$

$$k_y = 1{,}00 \le 1{,}5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{8{,}83}{0{,}9751 \times \frac{170{,}9 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}00 \times 240{,}85 \times 100}{\frac{2406 \times 23{,}5}{1{,}1}} = 0{,}471 \le 1{,}0$$

Interakcija M-N zadovoljava

Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

$$\mu_{LT} = 0{,}15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0{,}15 = 0{,}15 \cdot 0{,}47 \cdot 1{,}8 - 0{,}15 = 0{,}0023 \le 0{,}9$$

Koeficijent $\beta_{M,LT} = 1{,}8 - 0{,}7\,\psi = 1{,}8$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{Sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} = 1 - \frac{0{,}0023 \times 8{,}83}{0{,}8518 \times 170{,}9 \times 23{,}5} = 1{,}0 \;\rightarrow k_{LT} = 1{,}0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{8{,}83}{0{,}8518 \times \frac{170{,}9 \times 23{,}5}{1{,}1}} + \frac{1{,}0 \times 240{,}85 \times 100}{0{,}9391 \times \frac{2406 \times 23{,}5}{1{,}1}} = 0{,}502 < 1{,}0$$

Interakcija M-N zadovoljava
Osvrt na dimenzioniranje :

Iz priloženog proračuna je vidljivo da je presjek male iskoristivosti odnosno predimenzioniran s obzirom na granično stanje nosivosti.

Međutim da bi zadovoljili granično stanje uporabljivosti **usvajamo** ovaj **presjek (HEB 340)** budući da za ovaj presjek se javljaju maksimalni dozvoljeni progibi odnosno pomaci u konstruktivnom sustavu !

5.3. DIMENZIONIRANJE REŠETKE

5.3.1. DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA REŠETKE

Odabrani profil	**120x120x12**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina poprečnog presjeka	**A**	45,66 cm^2
Moment tromosti	$\mathbf{I_y}$	881,97 cm^4
	$\mathbf{I_z}$	881,97cm^4
Moment otpora	$\mathbf{W_{y=}W_z}$	147,00cm^3
	$\mathbf{W_{pl}}$	174,1 cm^3
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	1728,00 cm^4
Radijus tromosti	$\mathbf{i_y}$	4,4 cm
	$\mathbf{i_z}$	4,4 cm
Visina presjeka	**h**	120 mm
Širina presjeka	**b**	120 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	12 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	12 mm

Mjerodavna kombinacija

K1 = 1.35*G + 1.5*S = 1,35*(19,71+149,14)+1,5*173,55 = 488,27 kN **(TLAK)**

Klasifikacija Poprečnog Presjeka

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h-3t_f}{t_w} = 7,0 \le 33\varepsilon = 33$$ Hrbat u klasi 1.

Pojasnica

Uvjet za klasu 1

$$\frac{b-3t_w}{t_f} = 7,0 \le 33\varepsilon = 33$$ Pojasnica u klasi 1.

Poprečni presjek je u klasi 1

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,66 \times 23,5}{1,1} = 975,45 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \le N_{pl,Rd}$$

$$488{,}27 \text{ kN} \le 975{,}45 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema χ postupku

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

Dužine izvijanja:

l_{iy} =238,1 cm

l_{iz} = 476,2 cm

Efektivna vitkost: $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{238{,}12}{4{,}4}$=54,17 ; $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{476{,}2}{4{,}4}$=108,35

Svedena vitkost: $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}91$; $\beta_a = 1{,}00$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{54{,}17}{93{,}91} \times \sqrt{1} = 0{,}577$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{108{,}35}{93{,}91} \times \sqrt{1} = 1{,}154$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y = 0.8986$; $\chi_z = 0.5599$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0.5599$$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd}$ =0.5599 × 975,45 = 546,12 kN

$N_{Sd} \le N_{b,Rd} \rightarrow$488,27 kN < 546,12 kN

Iskoristivost je 89,41%

5.3.2. DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE

Odabrani profil	**100x100x10**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina poprečnog presjeka	**A**	31,70 cm^2
Moment tromosti	$\mathbf{I_y}$	425,33 cm^4
	$\mathbf{I_z}$	425,33cm^4
Moment otpora	$\mathbf{W_{y=}W_z}$	85,06cm^3
	$\mathbf{W_{pl}}$	100,74 cm^3
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	1000,00 cm^4
Radijus tromosti	$\mathbf{i_y}$	3,66 cm
	$\mathbf{i_z}$	3,66cm
Visina presjeka	**h**	100 mm
Širina presjeka	**b**	100 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	10 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	10 mm

Mjerodavna kombinacija

K1 = 1.35*G + 1.5*S = 1,35*(19,95+150,77) + 1,5 *175,44 = 493,63 kN (VLAK)

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{31,70 \times 23,5}{1,1} = 677,23\text{kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \leq N_{pl,Rd}$$

493,63 kN $\leq$ 677,235 kN $\rightarrow$ zadovoljava

Mjerodavna kombinacija

K2 = 1,5*W_1-1,0*G = 1,5*286,84 – 1,0*(19,95+150,77) = 259,54 kN (TLAK)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h-3t_f}{t_w} = 5,53 \leq 33\varepsilon = 33$$

Hrbat u klasi 1.

Pojasnica

Uvjet za klasu 1

$\frac{b-3t_w}{t_f} = 5,53 \le 33\varepsilon = 33$ Pojasnica u klasi 1.

Poprečni presjek je u klasi 1

Otpornost poprečnog presjeka

$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{36,05 \times 23,5}{1,1} = 677,23$ kN

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \le N_{pl,Rd}$$

259,54 kN $\le$ 677,23 kN $\rightarrow$ zadovoljava

Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema χ postupku

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

Dužine izvijanja:

l_{iy} =237,5 cm

l_{iz} = 475,0 cm

Efektivna vitkost: $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{237,5}{3,66} = 64,85$; $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{475,0}{3,66} = 129,69$

Svedena vitkost: $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91$; $\beta_a = 1,00$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{64,85}{93,91} \times \sqrt{1} = 069$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{129,69}{93,91} \times \sqrt{1} = 1,38$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y = 0.8522$; $\chi_z = 0.4273$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0{,}4273$$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd} = 0{,}4273 \times 677{,}23 = 289{,}38$ kN

$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 259{,}54$ kN < 289.38 kN

Iskoristivost je 89,7%

5.3.3. DIMENZIONIRANJE VERTIKALE REŠETKE

Odabrani profil	**50x50x4**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina poprečnog presjeka	**A**	6,67 cm^2
Moment tromosti	$\mathbf{I_y}$	20,80 cm^4
	$\mathbf{I_z}$	20,80 cm^4
Moment otpora	$\mathbf{W_{y=}W_z}$	9,16cm^3
	$\mathbf{W_{pl}}$	11,02 cm^3
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	125,00 cm^4
Radijus tromosti	$\mathbf{i_y}$	1,85 cm
	$\mathbf{i_z}$	1,85 cm
Visina presjeka	**h**	50 mm
Širina presjeka	**b**	50 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	4 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	4 mm

Mjerodavna kombinacija

K1 = 1.35*G + 1.5*S = 1,35*(4,66+37,16) + 1,5*43,24 =121,32 kN **(TLAK)**

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h-3t_f}{t_w} = 9{,}5 \le 33\varepsilon = 33$$ Hrbat u klasi 1.

Pojasnica

Uvjet za klasu 1

$$\frac{b-3t_w}{t_f} = 9{,}5 \le 33\varepsilon = 33$$ Pojasnica u klasi 1.

Poprečni presjek je u klasi 1

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6{,}67 \times 23{,}5}{1{,}1} = 142{,}57 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \leq N_{pl,Rd}$$

$$121{,}32 \text{ kN} \leq 142{,}57 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema χ postupku

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

Dužine izvijanja:

l_{iy} =60 cm

l_{iz} =60 cm

Efektivna vitkost: $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{60}{1.85}$=32,38 ; $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{60}{1.85}$=32,38

Svedena vitkost: $\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}91$; $\beta_a = 1{,}00$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{32{,}38}{93{,}91} \times \sqrt{1} = 0.345$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{32{,}38}{93{,}91} \times \sqrt{1} = 0{,}345$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y = 0.9668$; $\chi_z = 0.9668$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0.9668$$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd}$ =0.9668 × 142,57 = 137,83 kN

$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 121{,}32$ kN < 137,83 kN

Iskoristivost je 88,0 %

5.3.4. DIMENZIONIRANJE DIJAGONALE REŠETKE

Odabrani profil	**70x70x8**	
Tip poprečnog presjeka	**valjani**	
Površina poprečnog presjeka	**A**	17,09 cm^2
Moment tromosti	$\mathbf{I_y}$	112,11 cm^4
	$\mathbf{I_z}$	112,11 cm^4
Moment otpora	$\mathbf{W_{y=}W_z}$	32,03cm^3
	$\mathbf{W_{pl}}$	36,88 cm^3
Torzijska konstanta	$\mathbf{I_t}$	343,00 cm^4
Radijus tromosti	$\mathbf{i_y}$	2,56 cm
	$\mathbf{i_z}$	2,56 cm
Visina presjeka	**h**	70 mm
Širina presjeka	**b**	70 mm
Debljina pojasnice	$\mathbf{t_f}$	8 mm
Debljina hrpta	$\mathbf{t_w}$	8 mm

Mjerodavna kombinacija

K1 = 1.35*G + 1.5*S = 1,35*(13,7+103,88) + 1,5*120,88 = 340,05 kN (VLAK)

Otpornost poprečnog presjeka

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,09 \times 23,5}{1,1} = 365,17 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \le N_{pl,Rd}$$

$$340,05 \text{ kN} \le 365,17 \text{ kN} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Mjerodavna kombinacija

K1 = 1.5*W_1 - 1.0G = 1,5*217,13 - 1,0*(13,7+103,88) =208,12 kN (TLAK)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

Uvjet za klasu 1

$$\frac{h-3t_f}{t_w} = 5,5 \le 33\varepsilon = 33$$ Hrbat u klasi 1.

Pojasnica

Uvjet za klasu 1

$\frac{b-3t_w}{t_f} = 5,5 \le 33\varepsilon = 33$ Pojasnica u klasi 1.

Poprečni presjek je u klasi 1

Otpornost poprečnog presjeka

$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,09 \times 23,5}{1,1} = 365,17$ kN

Uvjet nosivosti:

$$N_{Sd} \le N_{pl,Rd}$$

$208,12 \text{ kN} \le 365,17 \text{ kN} \rightarrow$ zadovoljava

Otpornost elementa na izvijanje

Dokaz nosivosti prema χ postupku

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

Dužine izvijanja:

$l_{iy} = 245,0$ cm

$l_{iz} = 245,0$ cm

Efektivna vitkost: $\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{245,0}{2,56} = 95,66$; $\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{224,0}{2,56} = 95,66$

Svedena vitkost: $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a}$

$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,91$; $\beta_a = 1,00$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{95,66}{93,91} \times \sqrt{1} = 1,02$

$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{95,66}{93,91} \times \sqrt{1} = 1,02$

linija izvijanja **a**

Određivanje faktora redukcije

Očitano iz tablica: $\chi_y = 0.6525$; $\chi_z = 0.6525$

$$\rightarrow \chi_{min} = 0.6525$$

$N_{b,Rd} = \chi_{min} \times N_{c,Rd} = 0.6525 \times 365,17 = 238,29$ kN

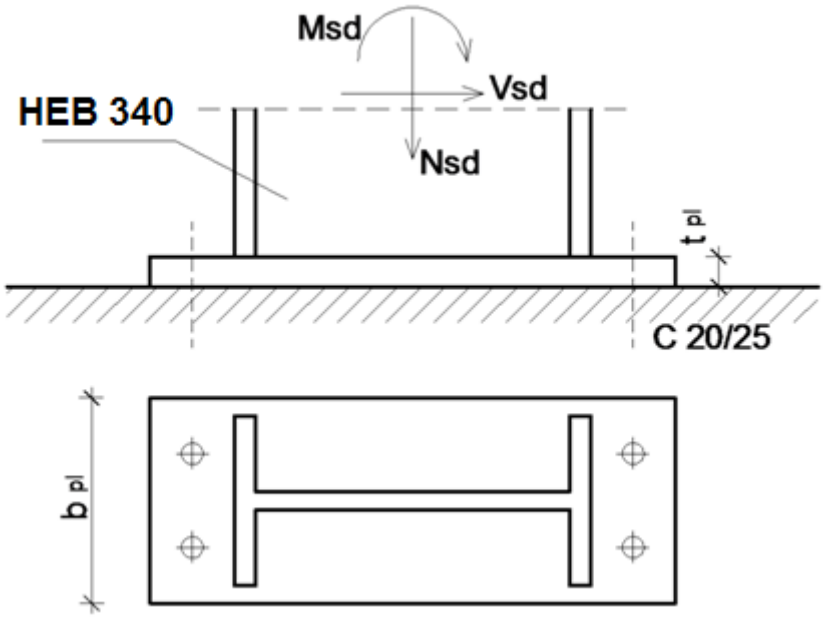
$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 208{,}12 \text{ kN} < 238{,}29 \text{ kN}$

Iskoristivost je 87,3 %

6. PRORAČUN SPOJEVA

6.1. DIMENZIONIRANJE UPETOG SPOJA STUP-TEMELJ

Ulazni podaci



Veličine djelovanja dobivene su za istu kritičnu kombinaciju kao i kod krajnjeg graničnog stanja:

N_{sd} = 8,83 kN (tlak)
M_{sd} = 240,85 kNm
V_{sd} = 91,09 kN

Napomena : za kombinaciju (vjetar W1+vlastita težina+stalni teret) u stupu se javlja vlačna sila, ali se za tu kombinaciju javlja i manji moment u stupu tako da je ukupna sila u vlačnoj pojasnici manja od one koja se dobiva za navedene veličine djelovanja s kojima je proveden proračun !

Materijal:

Osnovni materijal: Fe-360
Vijci: k.v. 10.9

Poprečni presjek:

Profil: HEB 340
h= 340 mm
b= 300 mm
t_w= 12 mm
t_f= 21,5 mm

Raspodjela sila po presjeku nosača:

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasnici od momenta savijanja

$$N_p^{*M} = \frac{M_{sd}}{h'} = \frac{240,85}{(0.34-0.022)} = 759,39kN$$

Tlačna sila u pojasnici od uzdužne sile

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{sd} = -\frac{30 \cdot 2,15}{170,9} \cdot 8,83 = -3,33kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_p^{*M} - N_p^N = 756,06kN = F_{w,sd}$$

Kontrola varova:

Dužina vara pojasnice

$$l_1 = 2 \cdot 300 = 600mm$$

Dužina vara hrpta:

$$l_2 = 2 \cdot 297 = 594mm$$

Maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 12,0 = 8,40mm$$

Za pretpostavljeni var a=8.0mm

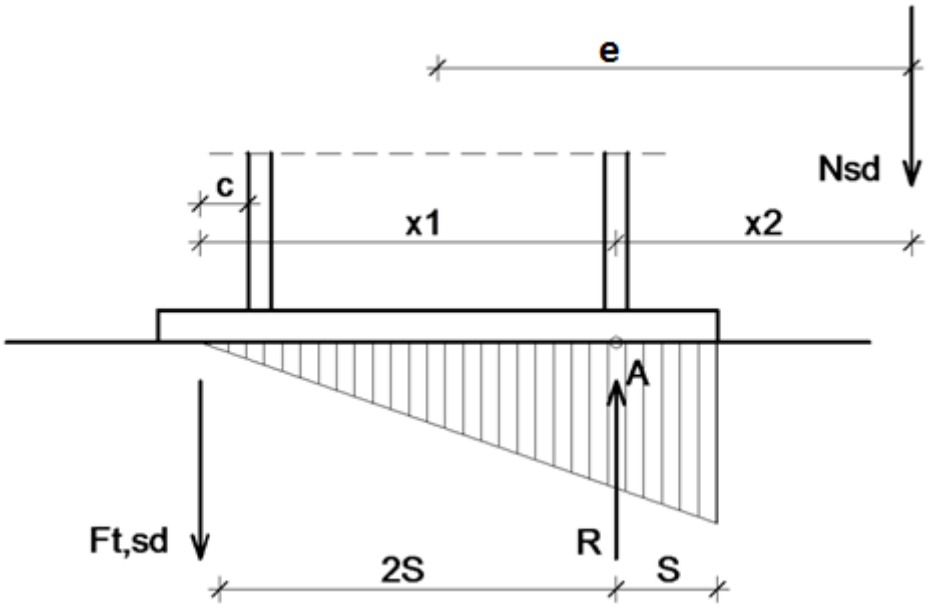
Uzdužna sila

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_1}{100} = \frac{207,8}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 997,44kN > F_{w,sd} = 756,06kN$$

Poprečna sila

$$F_{w,rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M1}} \cdot \frac{l_2}{100} = \frac{207,8}{1.25} \cdot \frac{594}{100} = 98,75kN > V_{sd} = 91,09kN$$

Proračun vijaka:



Pretpostavljeni vijak

M 30 ; k.v. 10.9

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 30 + 8\sqrt{2} = 71{,}31mm$$

Usvojeni c = 80 mm

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{240{,}85}{8{,}83} = 27{,}28m$$

Ekscentricitet $x_1 = 80 + 340 - 10.5 = 409{,}5mm = 0.4095m$

Ekscentricitet $x_2 = 27280 - \frac{340}{2} + 10.5 = 27{,}12m$

Iz ravnoteže sila slijedi:

$$N_{sd} \cdot x_2 = F_{t,sd} \cdot x_1 \Rightarrow F_{t,sd} = \frac{N_{sd} \cdot x_2}{x_1} = \frac{8{,}83 \cdot 27{,}12}{0{,}4095} = 584{,}78kN$$

Otpornost vijka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{584{,}78}{1.25} = 467{,}82kN > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{34{,}07}{2} = 17{,}04kN$$

Otpornost vijaka na posmik

Poprečna sila se raspoređuje na 4 vijaka.

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{280{,}5}{1.25} = 224{,}4kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{4} = \frac{91{,}09}{4} = 22{,}77kN$$

Interakcija uzdužne i posmične sile na vijak

$$\frac{F_{t,sd}}{1.4\cdot F_{t,rd}}+\frac{F_{v,sd}}{F_{v,rd}}\le 1.0 \Rightarrow \frac{34,07}{1.4\cdot 467,82}+\frac{22,77}{224,4}=0.15<1.0$$

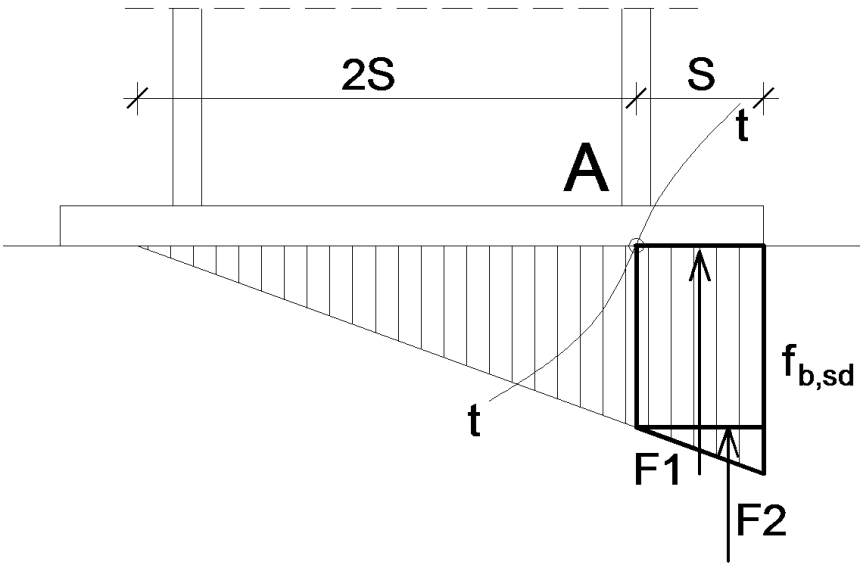
Proračun dimenzija ploče:

Proračun širine i dužine ploče

$$a_{pl}^{\min}=h+2\cdot(c+e_1)=340+2\cdot(80+75)=650mm$$
$$b_{pl}^{\min}=b+2a\sqrt{2}+20=300+2\cdot 8\cdot\sqrt{2}+20=342,63mm$$
$$b_{pl}^{\min}=p_2+2\cdot e_2=100+2\cdot 60=220mm$$

Odabrane dimenzije širine i dužine ploče su 650x350mm

Proračun debljine ploče



Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd}=\frac{V_{Sd}}{4}=22,77\ \text{kN}=F_{b,Sd}<F_{b,Rd}=\frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}}\cdot\frac{t^{pl}}{10}\Rightarrow t^{pl}>\frac{F_{b,Sd}\cdot\gamma_{Mb}\cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl}>\frac{22,77\cdot 1,25\cdot 10}{204,5}=1,39\ \text{mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$S = (650 - 340 + 10.5)/2 = 160,25mm = 16cm$$
$$R = F_{t,sd} + N_{sd} = 584,78 + 8,83 = 593,61kN$$

Naprezanje na betonu

$$f_{B,sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot S \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{593,61}{\frac{3 \cdot 16 \cdot 35}{2}} = 0.71kN/cm^2 \le \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{2.0}{1.5} = 1.33kN/cm^2$$

Savijanje ploče

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

$$= \frac{2}{3} \cdot 7067 \cdot 0.16 \cdot 0.40 \cdot \frac{0.16}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 7067 \cdot 0.16 \cdot 0.40}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.16 = 32,16kNm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$$M_{sd} = F_{t.sd} \cdot (c + t_f/2) = 584,78 \cdot (0.08 + 0.01075) = 53,07kNm \Rightarrow mjerodavnije$$

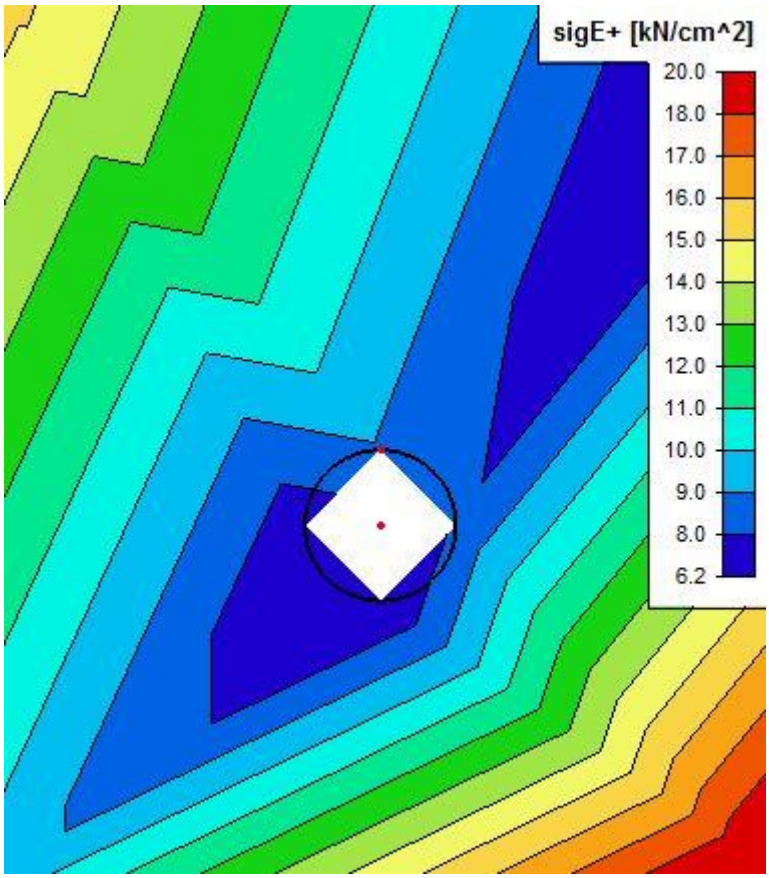
$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{2\min}}{6} \Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 5307 \cdot 6}{40 \cdot 23.5}} = 6,11cm$$

$$t_{pl} = 6,6cm$$

Usvojena dimenzija ploče je *650x350x62 mm*

Dimenzija debljine je prevelika pa moramo staviti ukrutu!

Usvojena debljina ploče je proračunata u programskom paketu „Scia Engineer 2014“ sa potrebnim ukrutama. Za ploču debljine 40mm naprezanja koja se javljaju su u granicama dopuštenih.



Usvojene dimenzije ploče su: **710 x 340 x 40 mm**

$$\sigma_{max} = 20{,}0\,\frac{kN}{cm^2} < \frac{f_y}{\gamma} = \frac{23{,}5}{1{,}1} = 21{,}36\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\frac{20{,}0}{21{,}36} = 0{,}9363 \quad 93{,}63\%$$

6.2. DIMENZIONIRANJE SPOJA STUP-REŠETKA

Ulazni podaci

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

$$V_{z,sd} = 1,5 \cdot V_{W1} - 1,0 \cdot V_{vl.tež.} - 1,0 \cdot V_G = 1,5 \cdot 5,16 - 1,0 \cdot 0,16 - 1,0 \cdot 1,26 = 6,32\ kN$$

$$N_{sd} = 1,5 \cdot N_{W1} - 1,0 \cdot N_{vl.tež.} - 1,0 \cdot N_G = 1,5 \cdot 85,71 - 1,0 \cdot 8,21 - 1,0 \cdot 37,16 = 83,20\ kN\ (VLAK)$$

Materijal

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 4.6

Poprečni presjek

Profil: HEB340

h =340 mm

b =300 mm

t_w =12,0 mm

t_f =21,5 mm

Kontrola varova

Fw,sd= $(6,32^2+83,20)^{0,5}$=83,44 kN

Profil HEB 340

-Duljina vara

l= 2 ·300 + 2 · (340 – 32)≈ 1216 mm

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

$$a_{\max} = 0,7 \times t_{\min} = 0,7 \times 12,0 = 8,40 mm$$

Za usvojenu debljinu vara a = 5 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{129,9}{1,25} \times \frac{1216}{100} = 1263,67\ kN > F_{wsd} = 83,44\ kN$$

Profil 100x100x10

Duljina vara :

$l = 100 + 2 \cdot 184 = 458\, mm$

-Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu elementa:

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

Za pretpostavljeni var 4,0 mm:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1,25} \times \frac{L}{100} = \frac{181,9}{1,25} \times \frac{468}{100} = 681,03\, kN \quad > \quad F_{w,sd} = 74,07\, kN$$

Proračun vijaka

Uz pretpostavku vijaka M16 k.v. 4.6 , udaljenost $c_{\min}$ iznosi :

Profil HEB 340

$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 6\sqrt{2} = 40,49 mm$

Profil 100x100x10

$c_{\min} = 2 \cdot d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 4\sqrt{2} = 37,66 mm$

Odabrano: c=41mm

e_1=40mm

Otpornost vijka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{56,5}{1.25} = 45,2 kN > \frac{F_{t,sd}}{2} = \frac{83,20}{2} = 41,6 kN$$

Otpornost vijaka na posmik

$$F_{v,rd} = \frac{F_{v,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{37,7}{1.25} = 30,16 kN > F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{2} = \frac{6,32}{2} = 3,16 kN$$

Proračun dimenzija ploče

Proračun duljine i širine ploče:

$a_{pl}^{\min} = h + 2 \cdot (c + e_1) = 340 + 2 \cdot (41 + 40) = 505mm$

$b_{pl}^{\min} = b + 20 = 300 + 20 = 320mm$

$b_{pl}^{\min} = p_2 + 2 \cdot e_2 = 55 + 2 \cdot 30 = 115mm$

Odabrane dimenzije duljine i širine ploče su 505x320mm

Proračun debljine ploče

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Sd}}{2} = 3{,}16 \text{ kN} = F_{b,Sd} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \Rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Sd} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3{,}16 \cdot 1{,}25 \cdot 10}{106{,}7} = 0{,}37 \text{ mm} \Rightarrow t_{\text{pl}}^{\min} = 10mm$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c = 83{,}2 \cdot 0{,}041 = 3{,}41kNm$

$$\rightarrow t_{pl,\min} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot M_{sd} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 341 \cdot 6}{32{,}0 \cdot 23{,}5}} = 1{,}63cm = 17mm \Rightarrow odabranot_{pl} = 17mm$$

Usvojene dimenzije ploče su *505x320x17 mm*

6.3. DIMENZIONIRANJE VLAČNOG NASTAVKA ŠTAPA REŠETKE

Ulazni podaci

Veličina djelovanja na mjestu spoja

N_{sd} = 356,44 kN (Vlačna sila)

Materijal

Osnovni materijal: Fe-360

Vijci: k.v. 5.6

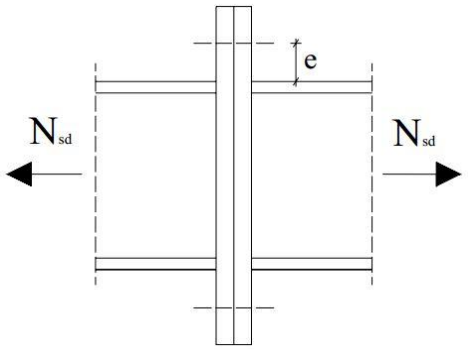
Poprečni presjek

Profil: 100x100x10

h = 100 mm

b = 100 mm

t= 10 mm



slika 6.3.1. vlačni nastavak rešetke

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara:

a_{max} = 0.7*t_{min} =0.7*10= 7,0 mm →odabrano a = 7,0mm

Otpornost vara:

L_w = O = 4*100 = 400mm

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{181,9}{1.25} \cdot \frac{400}{100} = 582,08kN > N_{sd} = 356,44kN$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M 20 k.v. 5.6.

n = 4 vijka

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{110.3}{1.25} = 88.24kN$$

$$F_{t,sd} = \frac{N_{sd}}{4} = \frac{356,44}{4} = 65,97kN \le F_{t,Rd} = 89,11kN$$

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 20 + 7\sqrt{2} = 49,9mm \approx 50mm$$

$$b_{pl,\min} = 2 \cdot e_2 + p_2 = 2 \cdot 40 + 70 = 150mm$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a\sqrt{2} + 2 \cdot c \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 2 \cdot e_2 = 100 + 2 \cdot 50 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 2 \cdot 40 = 250mm$$

Odabrane dimenzije ploče su 250 x 250 mm

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

b_{pl} = 250 mm

$$M_{sd} = F_{t,sd} \cdot c / 2\sqrt{2} = 65,47 \cdot 0.050 / 2\sqrt{2} = 1.16kNm$$

$$M_{sd} \le \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1.1} \Rightarrow W = \frac{1.1 \cdot M_{sd}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t^2{}_{pl}^{\min}}{6}$$

$$\Rightarrow t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 116 \cdot 6}{25,0 \cdot 23,5}} = 1,29cm$$

Odabrane dimenzije ploče su 250 x 250 x 13 mm

7. DIMENZIONIRANJE TEMELJA

BETON
C 25/30
$\gamma_b = 24$ kN/m^3

ARMATURA
B 500/550
$f_{yk} = 500$ N/mm^2
$\gamma_s = 1,15$
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,8$ N/mm^2

TLO
$f_{tla,dop} = 0,3$ MN/m^2

REZNE SILE
$N = -8,83$ kN
$V_y = 91,09$ kN
$M_z = 240,85$ kN

SILE

$A = b_x \cdot b_y = 10,5$ m^2

$$W_x = \frac{b_x \cdot b_y^2}{6} = 3,06 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{b_y \cdot b_x^2}{6} = 10,5 \text{ m}^2$$

$N_{sd} = N - \gamma_b \cdot b_x \cdot b_y \cdot d = -260,83$ kN

$M_{sd,x} = M_x + N \cdot c_y = 0$ kNm

$M_{sd,y} = M_y - N \cdot c_x + V_x \cdot d = 331,94$ kNm

$$e_x = \frac{M_{sd,y}}{N_{sd}} = -127,26 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{M_{sd,x}}{N_{sd}} = 0 \text{ cm}$$

NAPREZANJA U TLU

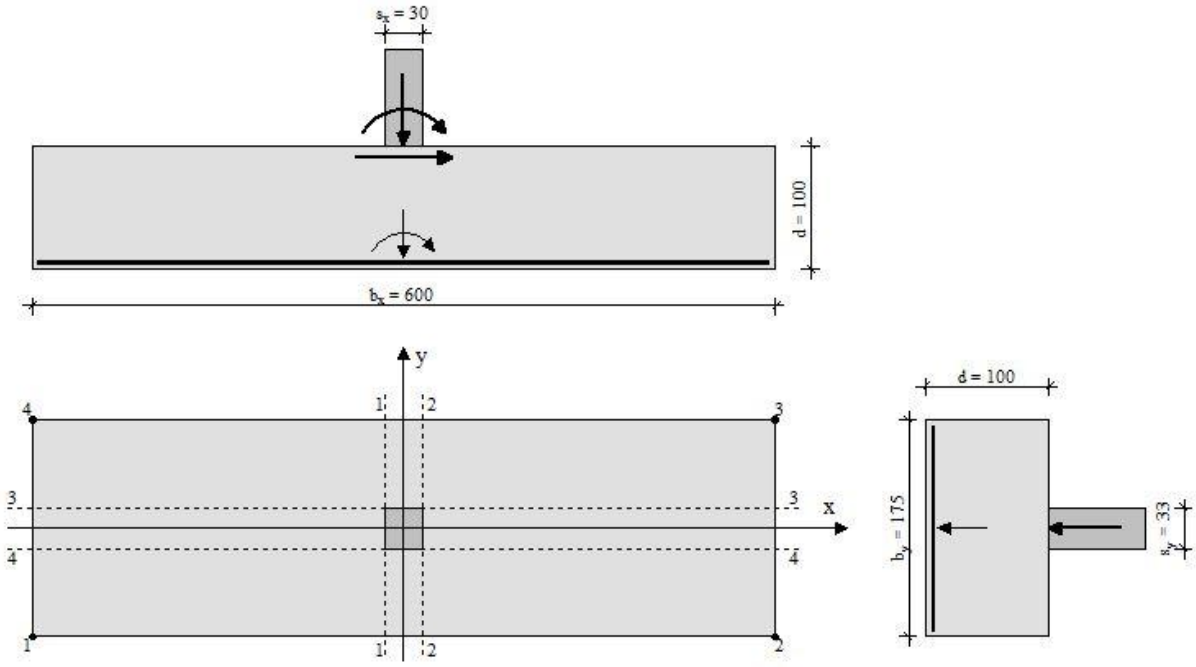
$\sigma_1 = 0,00$ MN/m^2
$\sigma_2 = 0,05752$ MN/m^2
$\sigma_3 = 0,05752$ MN/m^2
$\sigma_4 = 0,00$ MN/m^2

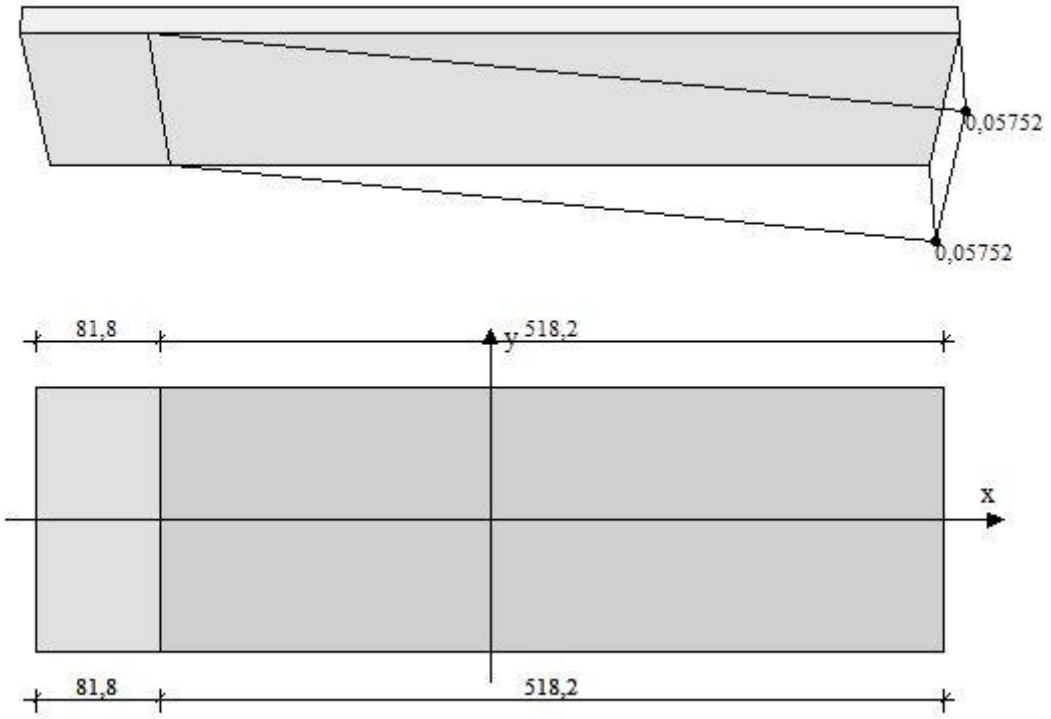
ARMATURA

$M_{1-1} = 27,17$ kNm
$M_{2-2} = 333,88$ kNm
$M_{3-3} = 25,71$ kNm
$M_{4-4} = 25,71$ kNm

$$A_{sx} = \frac{M_{2-2}}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \mathbf{8,98} \text{ cm}^2$$

$$A_{sy} = \frac{M_{3-3}}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \mathbf{0,69} \text{ cm}^2$$




0,05752
0,05752
81,8
y
518,2
x
81,8
518,2

8. UKUPNA TEŽINA HALE I TEŽINA PO m^2

Ukupna težina hale:

$$G_{ukupno} = G_{okvir} \cdot n_{okvira} + G_{sek} = 3379{,}12 \cdot 11 + 61328{,}76 = 100\,033{,}58\ kg$$

Težina po kvadratu konstrukcije

$$G_{m^2} = \frac{G_{ukupno}}{P_{objekta}} = 100\,033{,}58/(19 * 71) = 77{,}19\ kg/m^2$$

10. 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] B.Peroš, I. Boko: Predavanja