Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Čavčić, Anđela

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:198272

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

OSNOVE METALNIH KONSTRUKCIJA

Split, srpanj 2020. g. **Anđela Čavčić**

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Završni rad

Split, srpanj 2020. g. **Anđela Čavčić**

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ:	PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA
KANDIDAT:	Anđela Čavčić
BROJ INDEKSA:	4557
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 i spregove konstrukcije.

Način izvedbe: montažno

Materijal konstrukcije: S 235

Lokacija objekta: Zagreb

Razmak okvira: 4,7 (m)

U Splitu, 23.03.2020.

Voditelj Završnog rada: prof. dr. sc. Ivica Boko

Proračun čelične konstrukcije proizvodne hale

Sažetak:

Na temelju zadanih ulaznih podataka o lokaciji objekta, materijalu izrade, širini objekta i visini stupova, nagibu krovne plohe, razmaku okvira i visini rešetke dimenzionirana je glavna nosiva konstrukcija čelične hale, sekundarni nosači i spregovi. Dimenzioniranje je provedeno na mjerodavnu (kritičnu) kombinaciju djelovanja opterećenja (vlastita težina, dodatno stalno opterećenje, snijeg i vjetar) prema graničnom stanju uporabljivosti (GSU) i graničnom stanju nosivosti (GSN). Iznosi unutarnjih sila dobiveni su u računalnom programu „SCIA Engineer 19.1“.

Ključne riječi:

Opterećenje, kombinacija, čelik, hala, konstrukcija, rešetka, dimenzioniranje, spregovi, podrožnice, spojevi, temelji…

Design of a steel manufacturing hall

Abstract:

Based on the default input data about a location of object, construction material, object width and column height, the slope of the roof surface, frame spacing and height of the grating, our assignment is to design main supporting structure of the steel hall, secondary structure, bracings and foundations. The designing is implemented by applicable (critical) combination of load action (self weight, additional constant load, snow and wind) according to ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). The results of the internal forces were calculated in „SCIA Engineer 19.1“.

Keywords:

Load, combination, steel, hall, construction, grating, design, bracings, purlins, joints, foundations

Sadržaj

1 TEHNIČKI OPIS 1

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE 1
1.1.1 OPĆENITO 1
1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI 3
1.1.3 SPOJEVI 3
1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE 4
1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE 4
1.4 PRIMIJENJENI PROPISI 4
1.5 ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA 5
1.6 ZAŠTITA OD POŽARA 5
1.7 MONTAŽA I TRANSPORT 5

2 ANALIZA OPTEREĆENJA 6

2.1 STALNO OPTEREĆENJE 6
2.2 PROMJENJIVO OPTEREĆENJE 6

3 GRANIČNO STANJE UPORABE 23

3.1 DIJAGRAMI REZNIH SILA 23
3.1.1 Prva kombinacija: 1G+1S+1W$_1$ 23
3.1.2 Druga kombinacija: 1G+1W$_2$ 24
3.2 KONTROLA PROGIBA 26
3.2.1 Vertikalni progibi 26
3.2.2 Horizontalni pomak 27

4 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI 29

4.1 DIJAGRAMI REZNIH SILA 29
*4.1.1 Prva kombinacija: 1,35G+0,9*1,5(S+W$_1$) 29*
4.1.2 Druga kombinacija: 1G+1W2 30
4.1.3 Treća kombinacija: 1,35G+1,5W$_1$ 32
4.1.4 Četvrta kombinacija: 1,35G+1,5S 33
4.2 GLAVNI OKVIR 35
4.3 KROVNA PODROŽNICA 40
4.4 BOČNA PODROŽNICA 45
4.5 ZABATNI STUPOVI 48
4.6 SUSTAV KROVNIH SPREGOVA 49
4.7 SUSTAV BOČNIH SPREGOVA 50

5 DIMENZIONIRANJE 51

5.1 STUP 51
5.2 GORNJI POJAS REŠETKE 69
5.3 DONJI POJAS REŠETKE 72
5.4 DIJAGONALE 75
5.5 VERTIKALE 78
5.5.1 Vanjske vertikale 78
5.5.2 Unutarnje vertikale 80
5.6 ZABATNI STUPOVI 83
5.7 KROVNA PODROŽNICA 87
5.8 BOČNA PODROŽNICA 96

5.9 BOČNI SPREG 105
5.10 KROVNI SPREG 105
6 PRORAČUN SPOJEVA 106
6.1 UPETI SPOJ STUP-TEMELJ 106
6.2 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE 111
6.3 SPOJ STUP-REŠETKA 113
7 PRORAČUN TEMELJA 116
8 LITERATURA 119
9 NACRTI 120
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA 121
9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR 122
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA 123
9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA 124
9.5 DETALJ "D1" SPOJ STUP-TEMELJ 125
9.6 DETALJ "D2" SPOJ STUP-REŠETKA 126
9.7 DETALJ "D3" VLAČNI NASTAVAK REŠETKE 127
10 ISKAZ MATERIJALA 128

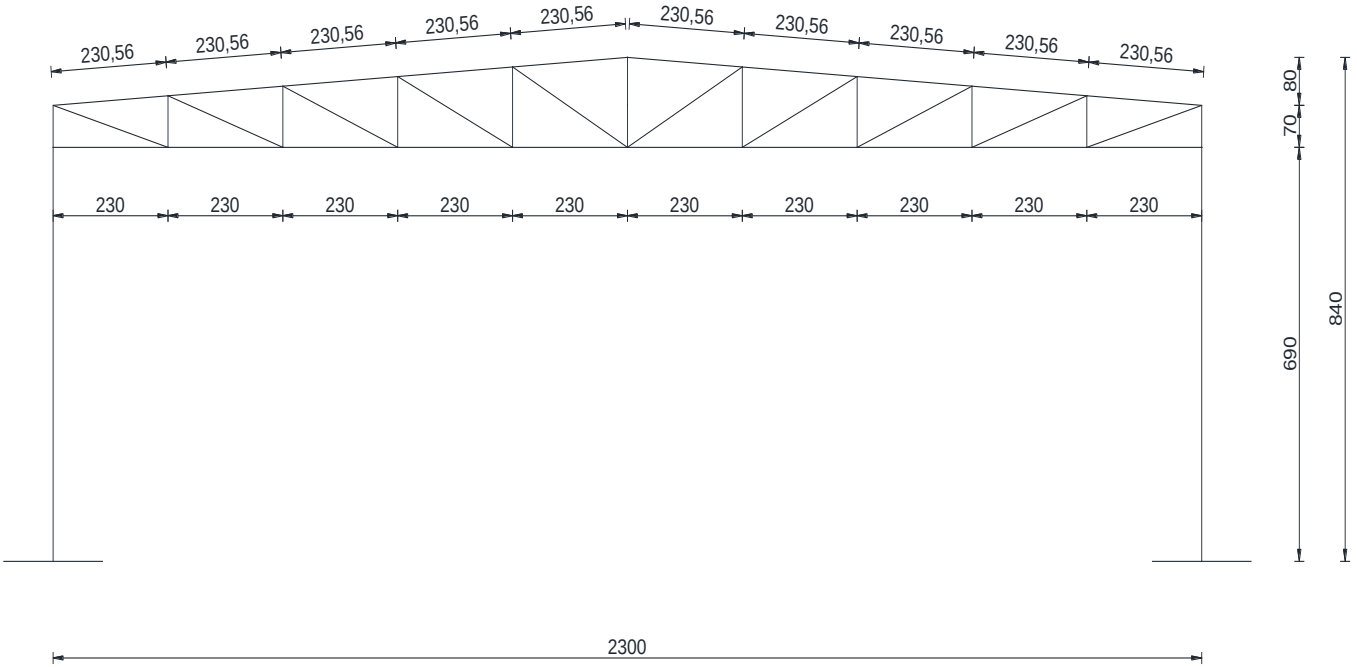
1 TEHNIČKI OPIS

1.1 OPIS KONSTRUKCIJE

1.1.1 OPĆENITO

Predmetna građevina nalazi se na području grada Zagreba. Tlocrtne dimenzije su 23 x 47 (m), a visina iznosi 8,4 (m). Krovna ploha je nagiba 7%, što je jednako nagibu pod kutom α=4°0’14,02’’ u odnosu na horizontalnu ravninu. Projektirana je za potrebe skladištenja.

Pogled na zabat

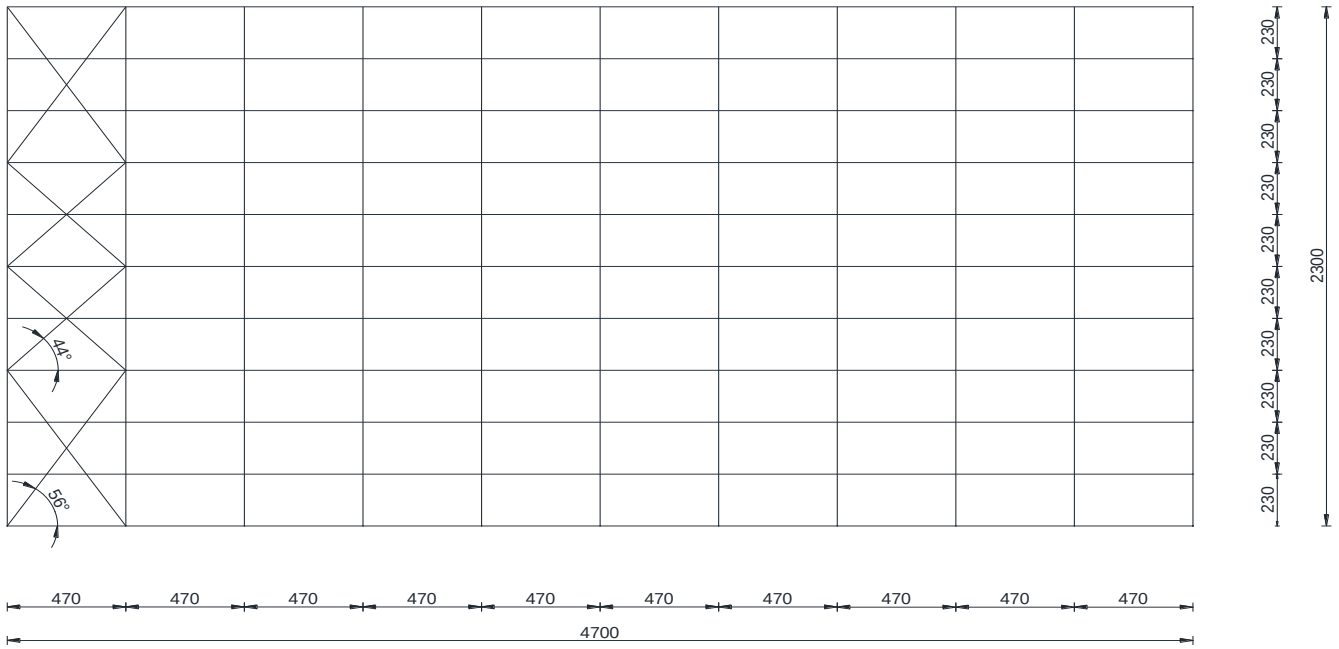


Glavni nosivi sustav hale je sustav od 10 ravninskih okvira raspona 23 (m), koji su stabilni u svojoj ravnini, na međusobnom osnom razmaku od 4,7 (m).

Bocni pogled



Tlocrt



Sekundarni krovni nosači (podrožnice) su oslonjeni na gornje pojaseve glavnih okvira i nalaze se na međusobnom osnom razmaku od 2,31 (m), a sekundarni bočni nosači (bočne podrožnice) su oslonjeni na stupove na međusobnom osnom razmaku od 2,3 (m).

Halu je potrebno stabilizirati u smjeru okomitom na glavni nosivi sustav. Stabilizacija je ostvarena krovnim spregovima i bočnim spregovima u krajnjim poljima (prvom i posljednjem). Za pokrov se koriste aluminijski sendvič paneli.

1.1.2 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI

Glavna rešetka

Glavna uloga glavnih rešetki je da preuzmu opterećenja od vlastite težine, snijega i vjetra pa su prema tome i dimenzionirane. Profili gornjeg i donjeg pojasa su kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 150/150/6 spojeni u čvorovima. Profili vanjskih vertikala su kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 150/150/6, profili unutarnjih vertikala 140/140/4, dok su profili dijagonala kvadratnog šupljeg poprečnog presjeka SHS 90/90/4.

Stupovi

Proračunom su odabrani stupovi valjanih H profila HEA 260 duljine 6900 mm. Za zabatne stupove su odabrani profili HEA 180. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja.

Podrožnice

Podrožnica je položena tako da je okomita na nagib krovne plohe, a uloga joj je da prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Pri dimenzioniranju krovnih podrožnica uzima se u obzir djelovanje snijega i vjetra, vlastite težine i dodatne težine, a pri dimenzioniranju bočnih podrožnica u proračun ulazi djelovanje vjetra i vlastita težina podrožnice. Profili krovnih podrožnica su IPE 220, a bočnih podrožnica IPE 160. Duljina podrožnica je 4,7 m.

Spregovi

Spreg služi za prihvaćanje horizontalnih sila vjetra i za sprječavanje izbočavanja. Horizontalni i vertikalni spregovi su dijagonale koje su izvedene od čelika okruglog poprečnog presjeka RD 14 (krovni spreg) i RD 14 (bočni spreg).

1.1.3 SPOJEVI

SPOJ STUP – TEMELJ
Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 460x300x35 (mm) koja je navarena na kraj stupa i pričvršćena vijcima M22 k.v. 5.6, nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja podlijeva se ekspandirajući mort.

SPOJ STUP – REŠETKA
Spoj grede na pojas stupa izvodi se pomoću se čeone ploče dimenzija 300x300x10 (mm) i vijaka M12 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

Spoj nastavka gornjeg i donjeg pojasa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 331x331x30 (mm), navarenim na krajeve greda međusobno pričvršćene vijcima M22 k.v. 5.6 nosivim na vlak i odrez.

1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE

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

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

Analiza je provedena na jednom reprezentativnom ravninskom okviru na kojeg otpada 4,7 (m) širine krovne plohe.

Proračun je konstrukcije izvršen u programu „Scia Engineer 19.1." koji se zasniva na metodi pomaka, tj. rezne sile računa po teoriji elastičnosti.

Sekundarne konstrukcije modelirane su kao proste grede širine 4,7 (m). Dimenzioniranje je elemenata hale i spojeva izvršeno prema najkritičnijoj kombinaciji opterećenja.

1.3 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE

Svi elementi konstrukcije (glavni nosivi okvir, sekundarne konstrukcije, spregovi i spojne ploče) izrađeni su od građevinskog čelika S235.

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30, s betonskim čelikom B500B kao armaturom. Na spoju stupa i temelja koristi se beton s aditivom za bubrenje.

1.4 PRIMIJENJENI PROPISI

Proračun čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

HRN EN 1991-1-1:2012 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1:Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja
Zgrada
HRN EN 1991-1-3:2012 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio
1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom
HRN EN 1991-1-4:2012 – Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja -- Djelovanja
vjetra
HRN EN 1992-1-1:2013 - Eurokod 2: Projektiranje betonskih
konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, HRN EN
1993-1-1:2014 - Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-1:Opća pravila i pravila za zgrade

1.5 ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA

Cijela čelična konstrukcija, svi njezini dijelovi, trebaju 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 pocinčavanjem i zaštitnim premazom. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200 μm.

1.6 ZAŠTITA OD POŽARA

U svrhu odugovlačenja zagrijavanja elemenata čelične konstrukcije tj. kako bi što duže održala projektiranu nosivost, svi elementi konstrukcije moraju se zaštiti posebnim premazima otpornim na visoke temperature. Također je potrebno opremiti objekt uređajima za najavu i gašenje požara za slučaj nastanka požara.

1.7 MONTAŽA I TRANSPORT

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

2 ANALIZA OPTEREĆENJA

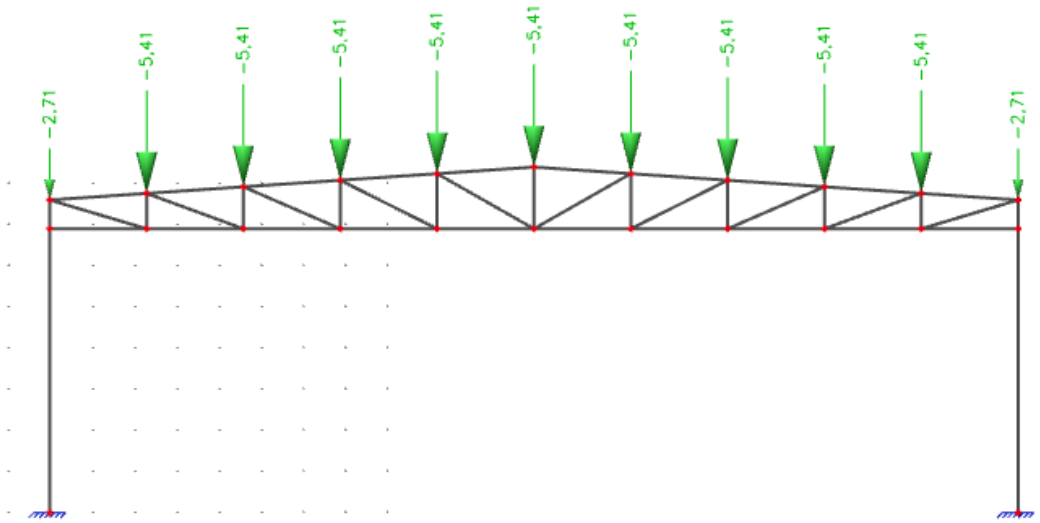
2.1 Stalno opterećenje

1. Sendvič paneli (aluminij): 0,2 kN/m2
2. Sekundarna konstrukcija i spregovi: 0,2 kN/m2
3. Instalacije: 0,1 kN/m^2

Σg_d= 0,5 kN/m^2

G= g_d*n*a= 0,5*4,7*2,304= 5,41 kN

g'= g_d*a= 0,5*2,304= 1,15 kN/m'



Slika 4.1.1. Opterećenje dodatnom težinom

2.2 Promjenjivo opterećenje

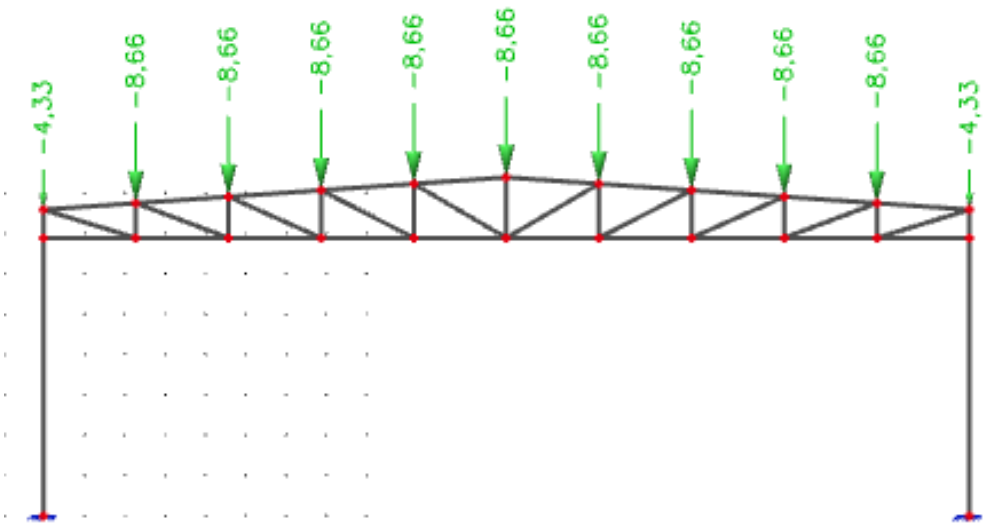
1. Snijeg

s= μ_i*Ce*Ct*s_k= 0,8*1*1= 0,8 kN/m^2

S= s*n*a= 0,8*4,7*2,034= 8,66 kN

s'= s*a= 0,8* 2,034= 1,63 kN/m'

μ_i= 0,8 (dvostrešni krov)
Ce, Ct=1
s_k= 1 kN/m^2 (Zagreb- kontinentalna Hrvatska (zona 3), nadmorska visina 100 m)



Slika 4.1.2. Opterećenje snijegom

2. Vjetar

- osnovni pritisak vjetra:

$\mathbf{q_b = ½ * \rho * v_b^2} = ½ * 1{,}25 * 20^2 = 250\ N/m^2$

- osnovna brzina vjetra:

$\mathbf{v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}} = 1*1*20 = 20\ m/s$

$C_{dir} = 1$
$C_{season} = 1$
$v_{b,0} = 20\ m/s$ (očitano s karte)

- srednja brzina vjetra:

$\mathbf{v_m(z) C_r(z) * C_0(z) * v_b} = 0{,}974*1*20 = 19{,}47\ m/s$

$C_0(z) = 1$ (faktor orografije)
$C_r(z)$-faktor hrapavosti terena

- faktor hrapavosti terena:

$\mathbf{C_r(z) = k_r * ln\frac{z}{z_0}}$, za $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ (II. Kategorija terena: $2 \leq z \leq 200$), $z = 8{,}4$ m

$C_r(z) = 0{,}19 * \ln\frac{8{,}4}{0{,}05} = 0{,}974$

- faktor terena k_r:

$\mathbf{k_r = 0{,}19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0{,}07}} = 0{,}19 * \left(\frac{0{,}05}{0{,}05}\right)^{0{,}07} = 0{,}19$

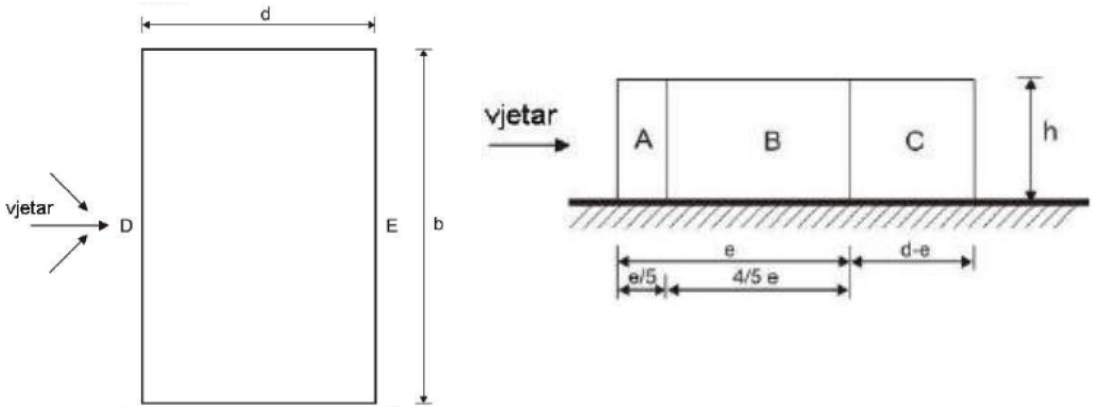
- pritisak vjetra pri udaru:

$q_p(z)$= $[1 + 7 * I_v(z)]$* ½ *ρ* $v_m^2(z)$= $[1 + 7 * 0{,}195]$* ½ * 1,25*$19{,}47^2$= 560,33 N/m^2= 0,56 kN/m^2

  - intezitet turbulencije $I_v(z)$:

$I_v(z)$= $\frac{k_I}{C_0(z) * ln\frac{z}{z_0}}$ = $\frac{1}{1 * \ln\frac{8,4}{0,05}}$ = 0,195

- koeficijenti pritiska na vanjske površine konstrukcije C_{pe}:
  - vertikalne površine konstrukcije:



Područje	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
≥ 5	– 1,4	– 1,7	– 0,8	– 1,1	– 0,5	– 0,7	+ 0,8	+ 1,0	– 0,5	– 0,7
1	– 1,2	– 1,4	– 0,8	– 1,1	– 0,5		+ 0,8	+ 1,0	– 0,5	
≤ 0,25	– 1,2	– 1,4	– 0,8	– 1,1	– 0,5		+ 0,7	+ 1,0	– 0,3	– 0,5

NAPOMENA: Za pojedinačne zgrade na otvorenome terenu u područjima u zavjetrini mogu nastupiti i veće sile.
Međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati.
Za zgrade čiji je omjer *h/d* > 5, ukupno opterećenje vjetrom smije se temeljiti na odredbama iz točaka od 7.6 do 7.8 i 7.9.2.

$\frac{h}{d} = \frac{8,4}{23} = 0,365$

A: C_{pe}= -1,2

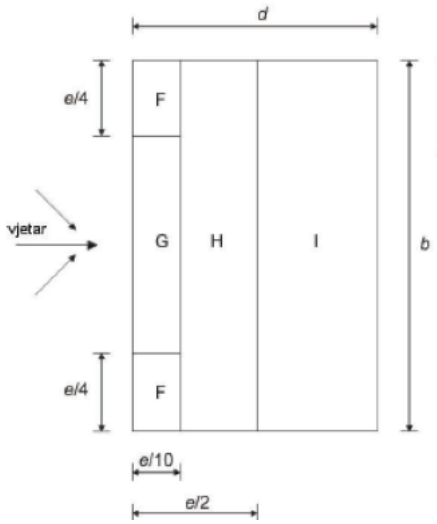
B: C_{pe}= -0,8

C: C_{pe}= -0,5

D: C_{pe}= 0,715≈0,72

E: C_{pe}= -0,331≈0,33

- za krovna područja – dvostrešni ravni krov:



Vrsta krova		Područje							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Oštri zabati		−1,8	−2,5	−1,2	−2,0	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	
S nadozidima	h_p/h = 0,025	−1,6	−2,2	−1,1	−1,8	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	
	h_p/h = 0,05	−1,4	−2,0	−0,9	−1,6	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	
	h_p/h = 0,10	−1,2	−1,8	−0,8	−1,4	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	
Zaobljeni zabati	r/h = 0,05	−1,0	−1,5	−1,2	−1,8	−0,4		+0,2	
								−0,2	
	r/h = 0,10	−0,7	−1,2	−0,8	−1,4	−0,3		+0,2	
								−0,2	
	r/h = 0,20	−0,5	−0,8	−0,5	−0,8	−0,3		+0,2	
								−0,2	
Izlom jeni zabati	α = 30°	−1,0	−1,5	−1,0	−1,5	−0,3		+0,2	
								−0,2	
	α = 45°	−1,2	−1,8	−1,3	−1,9	−0,4		+0,2	
								−0,2	
	α = 60°	−1,3	−1,9	−1,3	−1,9	−0,5		+0,2	
								−0,2	

NAPOMENA 1: Za krovove s nadozidima ili zaobljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija za međuvrijednosti h_p/h i r/h.

NAPOMENA 2: Za krovove s izlomljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija između α = 30°, 45° i α = 60°. Za α > 60° smije se upotrebljavati linearna interpolacija između vrijednosti za α = 60° i vrijednosti za ravne krovove s oštrim (izlomljenim) zabatima.

NAPOMENA 3: U području I, gdje su dane i pozitivne i negativne vrijednosti, u obzir treba uzeti obje vrijednosti.

NAPOMENA 4: Za sami izlomljeni zabat, koeficijenti vanjskog tlaka dani su u tablici 7.4a „Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove; smjer vjetra 0°", područje F i G, ovisno o nagibu izlomljenog zabata.

NAPOMENA 5: Za sami zaobljeni zabat, koeficijen i vanjskog tlaka dani su linearnom interpolacijom duž krivulje, između vrijednosti na zidu i na krovu.

NAPOMENA 6: Za mansardne strehe čije su horizontalne dimenzije manje od e/10 treba uzeti vrijednosti za oštre strehe. Za definiciju e vidjeti sliku 7.6

F: C_{pe}= -1,8

G: C_{pe}= -1,2

H: C_{pe}= -0,7

I: C_{pe}= ±0,2

*zona F se ne razmatra jer se proračunava središnji okvir

- koeficijenti pritiska na unutarnje površine konstrukcije:

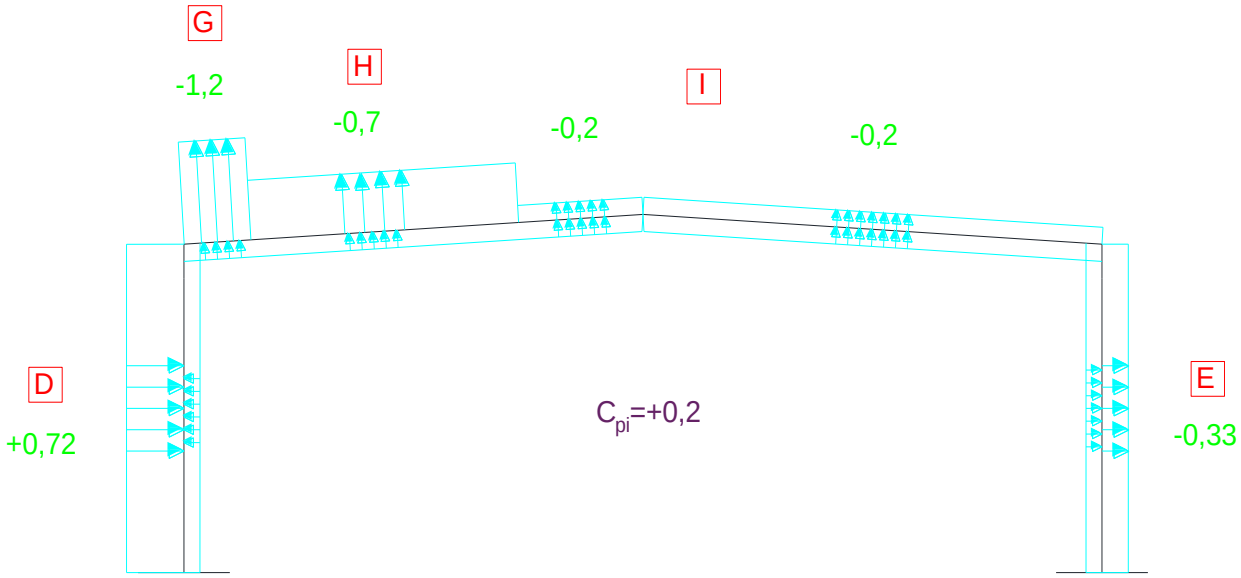
C_{pi}= -0,3

C_{pe}= +0,2

- određivanje opterećenja vjetrom w:
  - opterećenje vjetrom na vanjske površine : $w_e = q_p(z_e) * C_{pe}$
  - opterećenje vjetrom na unutarnje površine: $w_i = q_{pi}(z_i) * C_{pi}$

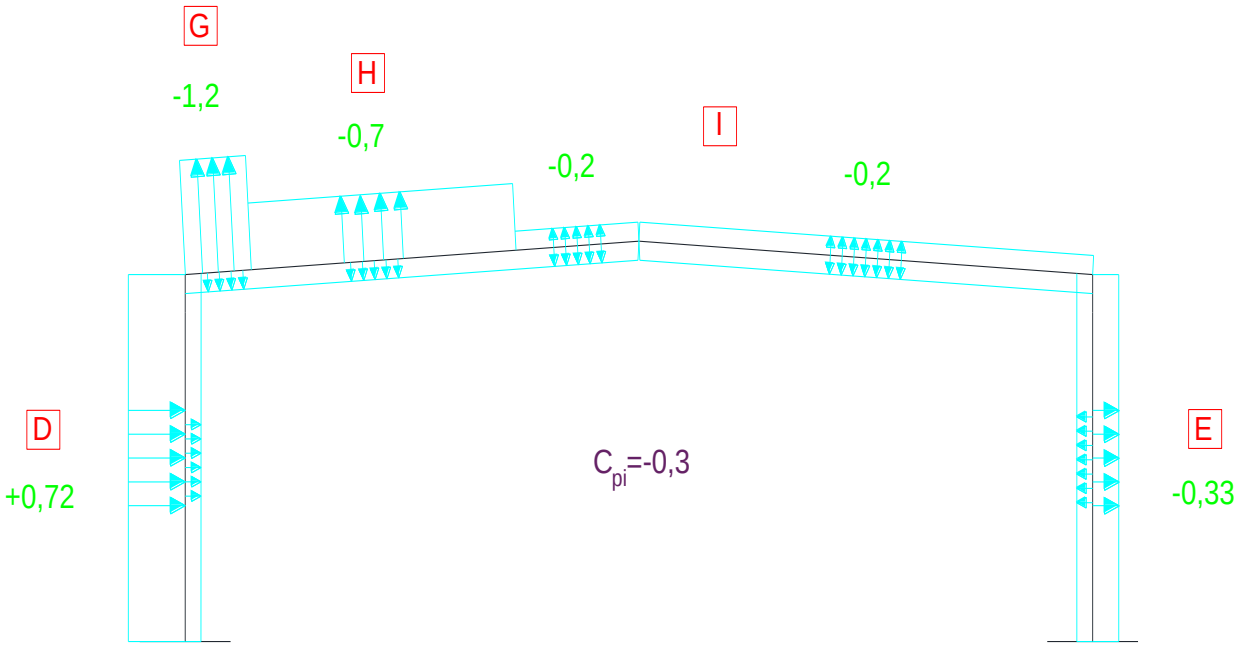
- rezultirajuće djelovanje vjetra:

  1.)



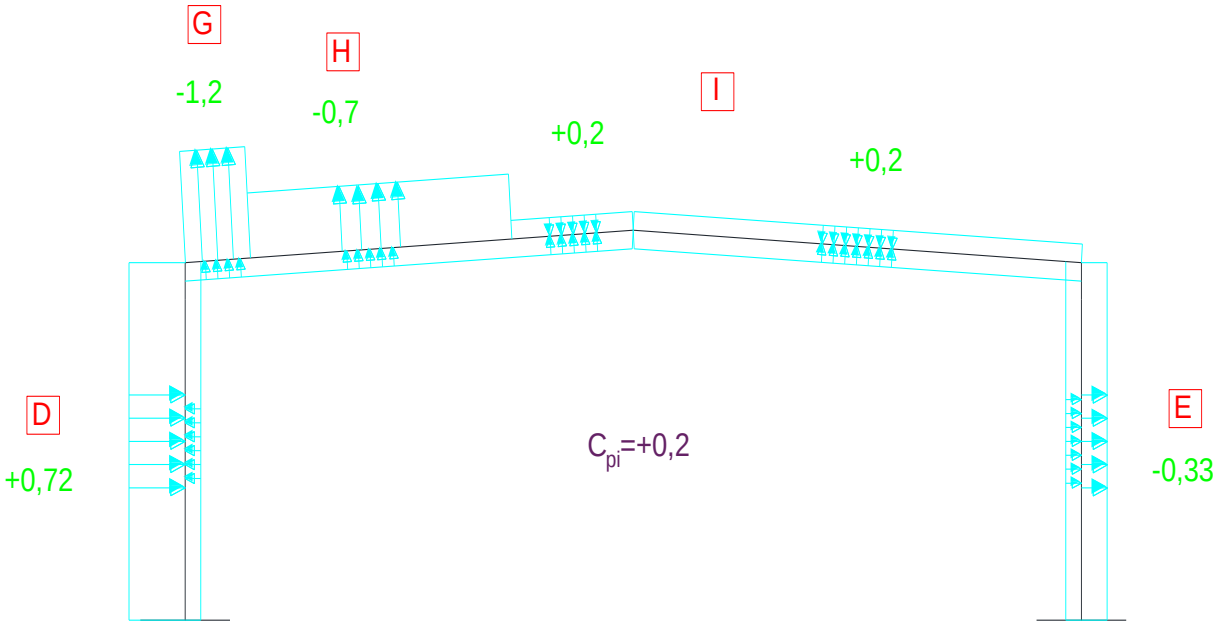
PODRUČJE	C_{pi}	C_{pe}	$q_p(z_e)*(C_{pi}''+''C_{pe})$	w $[kN/m^2]$	SMJER
D	+0,2	+0,72	0,56*(0,2-0,72)	0,29	+
E	+0,2	-0,33	0,56*(0,2+0,33)	0,30	-
F	+0,2	-1,8	0,56*(0,2+1,8)	1,12	-
G	+0,2	-1,2	0,56*(0,2+1,2)	0,78	-
H	+0,2	-0,7	0,56*(0,2+0,7)	0,50	-
I	+0,2	-0,2	0,56*(0,2+0,2)	0,22	-

2.)



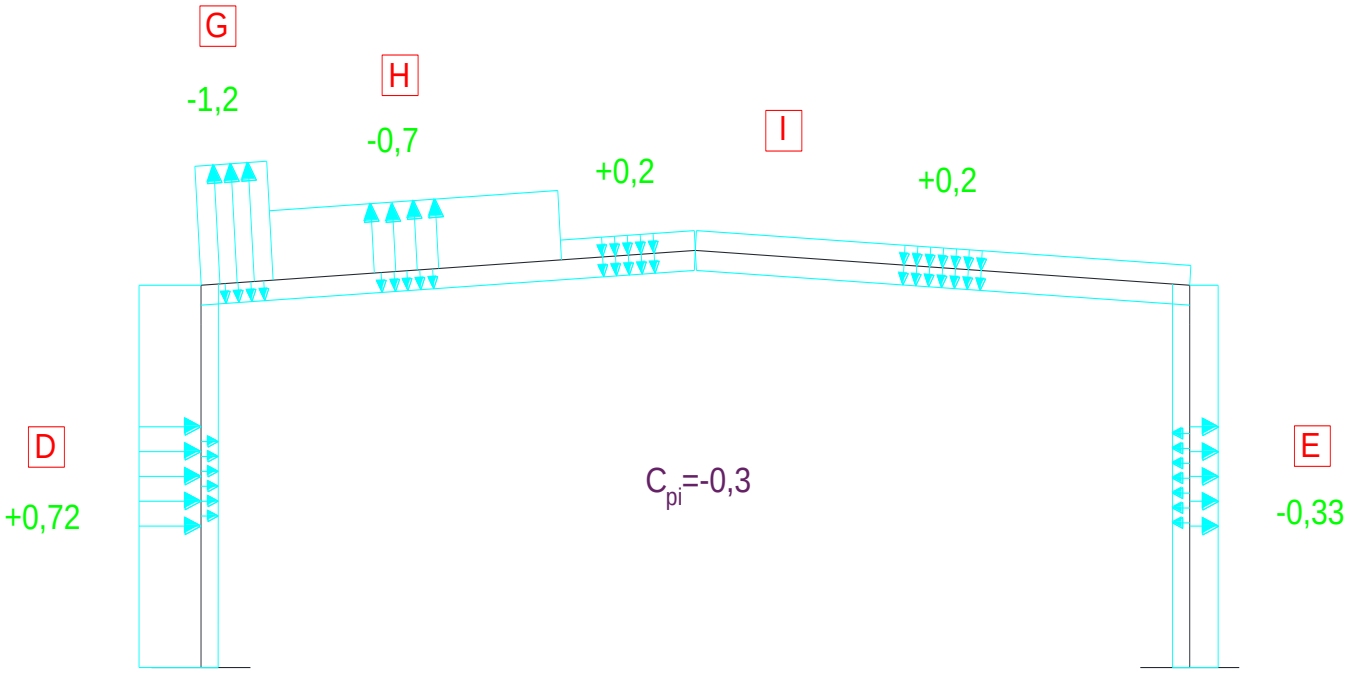
PODRUČJE	C_{pi}	C_{pe}	$q_p(z_e)*(C_{pi}''+''C_{pe})$	w $[kN/m^2]$	SMJER
D	-0,3	+0,72	0,56*(0,3+0,72)	0,57	+
E	-0,3	-0,33	0,56*(0,3-0,33)	0,02	-
F	-0,3	-1,8	0,56*(0,3-1,8)	0,84	-
G	-0,3	-1,2	0,56*(0,3-1,2)	0,50	-
H	-0,3	-0,7	0,56*(0,3-0,7)	0,22	-
I	-0,3	-0,2	0,56*(0,3-0,2)	0,06	+

3.)



PODRUČJE	C_{pi}	C_{pe}	$q_p(z_e)*(C_{pi}''+''C_{pe})$	w $[kN/m^2]$	SMJER
D	+0,2	+0,72	0,56*(0,2-0,72)	0,29	+
E	+0,2	-0,33	0,56*(0,2+0,33)	0,30	-
F	+0,2	-1,8	0,56*(0,2+1,8)	1,12	-
G	+0,2	-1,2	0,56*(0,2+1,2)	0,78	-
H	+0,2	-0,7	0,56*(0,2+0,7)	0,50	-
I	+0,2	+0,2	0,56*(0,2-0,2)	0,00	/

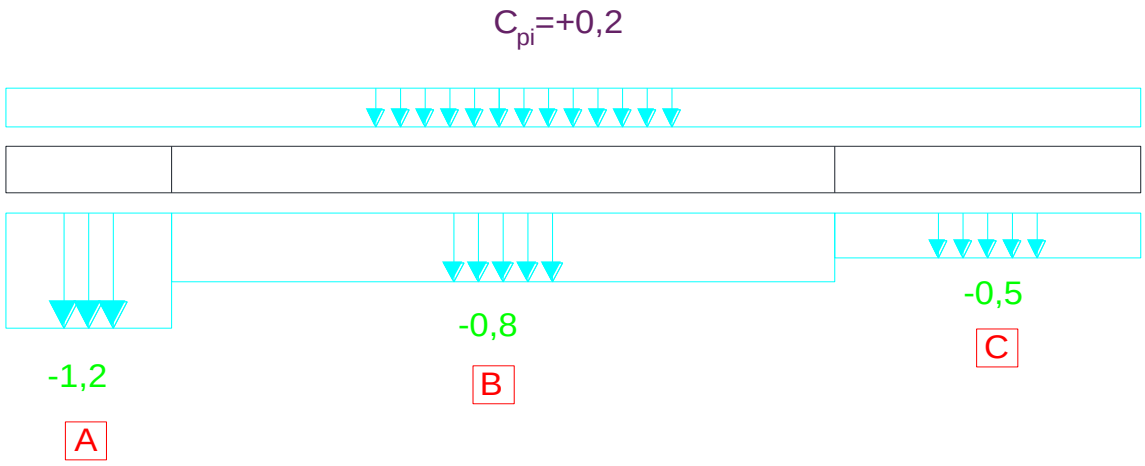
4.)



PODRUČJE	C_{pi}	C_{pe}	$q_p(z_e)$*(C_{pi}''+''C_{pe})	w $[kN/m^2]$	SMJER
D	-0,3	+0,72	0,56*(0,3+0,72)	0,57	+
E	-0,3	-0,33	0,56*(0,3-0,33)	0,02	-
F	-0,3	-1,8	0,56*(0,3-1,8)	0,84	-
G	-0,3	-1,2	0,56*(0,3-1,2)	0,50	-
H	-0,3	-0,7	0,56*(0,3-0,7)	0,22	-
I	-0,3	+0,2	0,56*(0,3+0,2)	0,28	+

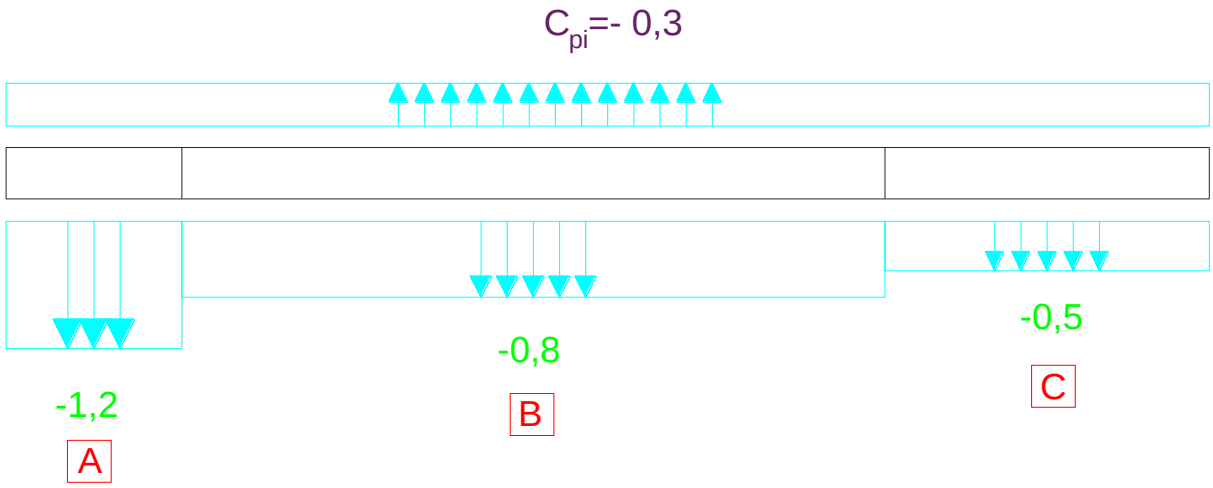
Mjerodavne su 1. i 4. kombinacija.

5.)



PODRUČJE	C_{pi}	C_{pe}	$q_p(z_e)$*(C_{pi}''+''C_{pe})	w $[kN/m^2]$	SMJER
A	+0,2	-1,2	0,56*(0,2+1,2)	0,78	-
B	+0,2	-0,8	0,56*(0,2+0,8)	0,56	-
C	+0,2	-0,5	0,56*(0,2+0,5)	0,39	-

6.)



PODRUČJE	C_{pi}	C_{pe}	$q_p(z_e)$*(C_{pi}''+''C_{pe})	w $[kN/m^2]$	SMJER
A	-0,3	-1,2	0,56*(0,3-1,2)	0,50	-
B	-0,3	-0,8	0,56*(0,3-0,8)	0,28	-
C	-0,3	-0,5	0,56*(0,3-0,5)	0,11	-

Sile u čvorovima:

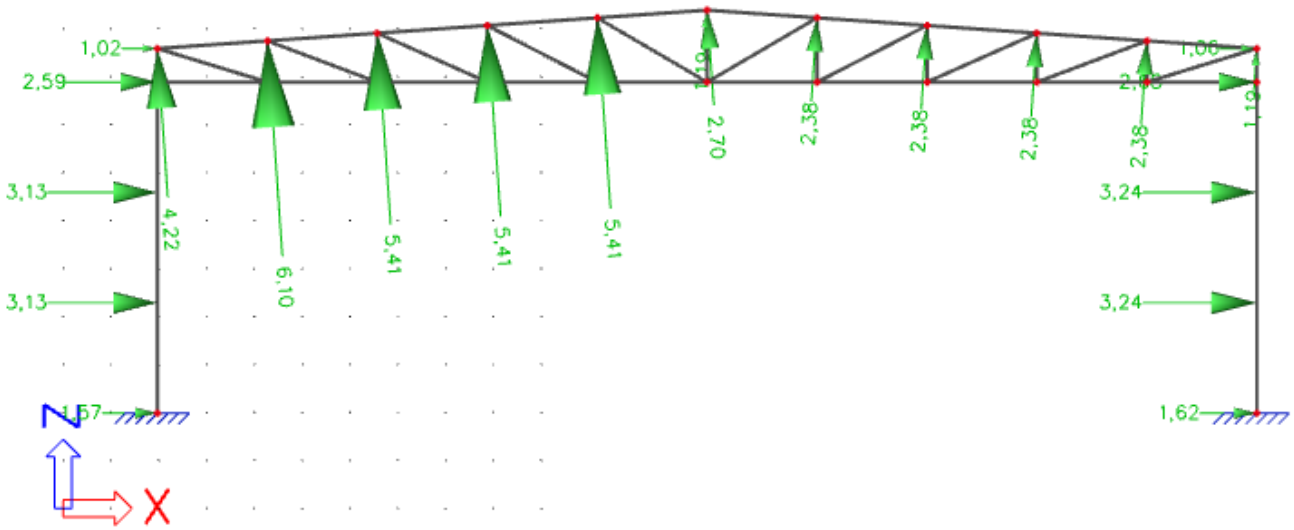
- 1. Kombinacija odizanje (W_2):

Stupovi:

ČVOR	w [kN/m^2]	UTJECAJNA ŠIRINA	w [kN/m']	UTJECAJNA POVRŠINA	w [kN]
1	0,29	1,15	0,33	1,15*4,7	1,57
2	0,29	2,3	0,67	2,3*4,7	3,13
3	0,29	2,3	0,67	2,3*4,7	3,13
4	0,29	1,15+0,75	0,55	(1,15*4,7)+(0,75*4,7)	2,59
5	0,29	0,75	0,22	0,75*4,7	1,02
6	-0,30	0,75	-0,23	0,75*4,7	-1,06
7	-0,30	1,15+0,75	-0,57	(1,15*4,7)+(0,75*4,7)	-2,68
8	-0,30	2,3	-0,69	2,3*4,7	-3,24
9	-0,30	2,3	-0,69	2,3*4,7	-3,24
10	-0,30	1,15	-0,35	1,15*4,7	-1,62

Krov:

ČVOR	w [kN/m^2]	UTJECAJNA ŠIRINA	w [kN/m']	UTJECAJNA POVRŠINA	w [kN]
1	-0,78	1,15	-0,90	1,15*4,7	-4,22
2	-0,78	0,53	-1,30	0,53*4,7	-6,10
	-0,50	1,15+0,62		(1,15+0,62)*4,7	
3	-0,50	2,3	-1,15	2,3*4,7	-5,41
4	-0,50	2,3	-1,15	2,3*4,7	-5,41
5	-0,50	2,3	-1,15	2,3*4,7	-5,41
6L	-0,50	1,15	-1,15	1,15*4,7	-2,70
6D	-0,22	1,15	-0,25	1,15*4,7	-1,19
7	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
8	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
9	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
10	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
11	-0,22	1,15	-0,25	1,15*4,7	-1,19



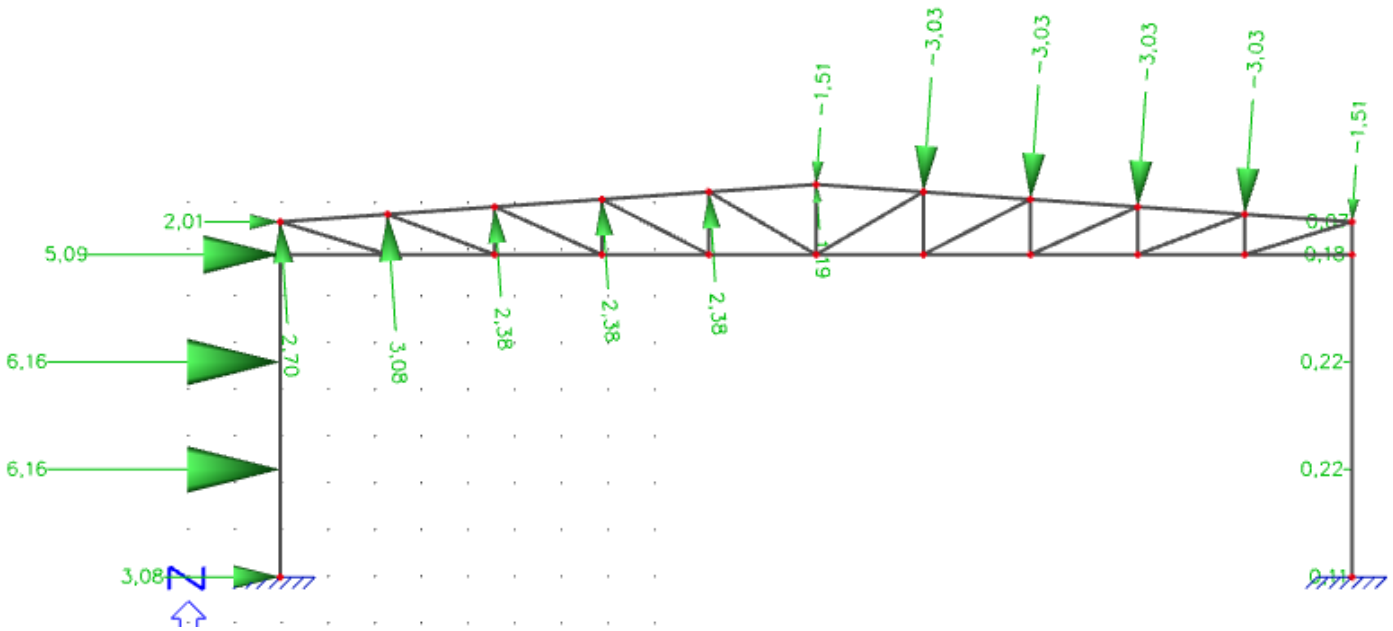
- 4. Kombinacija- pritisak (W_1):

Stupovi:

ČVOR	w [kN/m^2]	UTJECAJNA ŠIRINA	w [kN/m']	UTJECAJNA POVRŠINA	w [kN]
1	0,57	1,15	0,66	1,15*4,7	3,08
2	0,57	2,3	1,31	2,3*4,7	6,16
3	0,57	2,3	1,31	2,3*4,7	6,16
4	0,57	1,15 0,75	1,08	(1,15*4,7)+(0,75*4,7)	5,09
5	0,57	0,75	0,43	0,75*4,7	2,01
6	-0,02	0,75	-0,02	0,75*4,7	-0,07
7	-0,02	1,15 0,75	-0,04	(1,15*4,7)+(0,75*4,7)	-0,18
8	-0,02	2,3	-0,05	2,3*4,7	-0,22
9	-0,02	2,3	-0,05	2,3*4,7	-0,22
10	-0,02	1,15	-0,02	1,15*4,7	-0,11

Krov:

ČVOR	w [kN/m^2]	UTJECAJNA ŠIRINA	w [kN/m']	UTJECAJNA POVRŠINA	w [kN]
1	-0,50	1,15	-0,58	1,15*4,7	-2,70
2	-0,50	0,53	-0,66	0,53*4,7	-3,08
	-0,22	1,15+0,62		(1,15+0,62)*4,7	
3	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
4	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
5	-0,22	2,3	-0,51	2,3*4,7	-2,38
6L	-0,22	1,15	-0,25	1,15*4,7	-1,19
6D	0,28	1,15	0,32	1,15*4,7	1,51
7	0,28	2,3	0,64	2,3*4,7	3,03
8	0,28	2,3	0,64	2,3*4,7	3,03
9	0,28	2,3	0,64	2,3*4,7	3,03
10	0,28	2,3	0,64	2,3*4,7	3,03
11	0,28	1,15	0,32	1,15*4,7	1,51

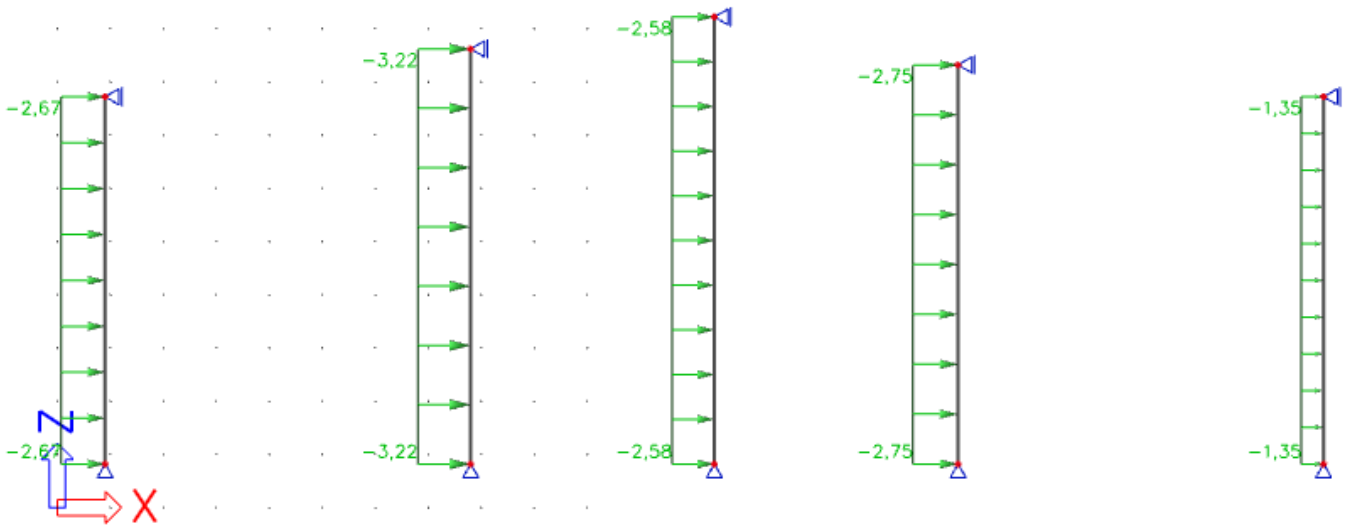


*zona H se uzima do sljemena da nema miješanja pozitivnih i negativnih tlakova na istoj strani krovne plohe

Sile na zabatnim stupovima:

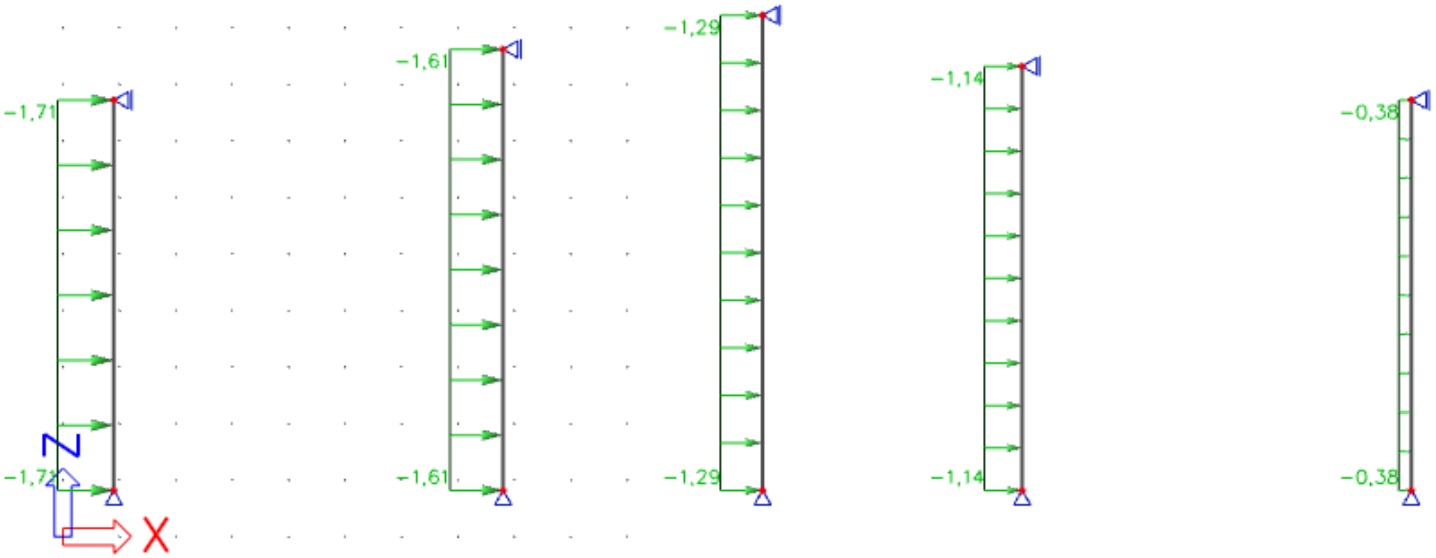
1. Kombinacija:

ZABATNI STUP	w [kN/m^2]	UTJECAJNA ŠIRINA	w [kN/m']
1	-0,78	3,36	-2,67
	-0,56	0,09	
2	-0,56	3,45+2,3	-3,22
3	-0,56	4,6	-2,58
4	-0,56	2,3+0,7	-2,75
	-0,39	2,75	
5	-0,39	3,45	-1,35



2. Kombinacija:

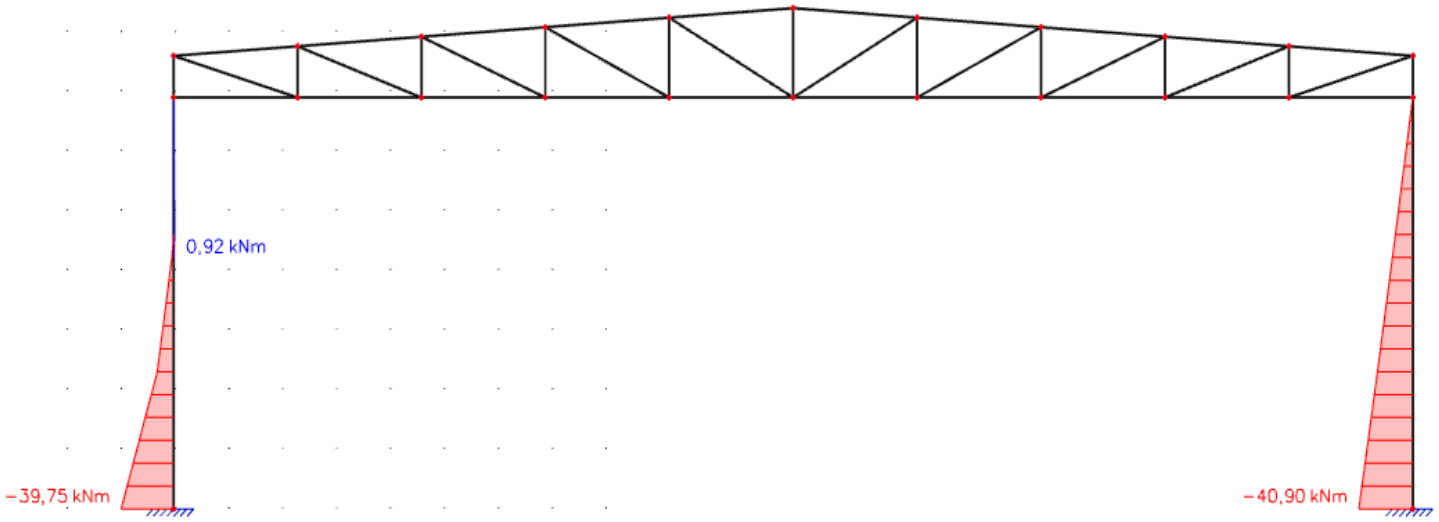
ZABATNI STUP	w [kN/m^2]	UTJECAJNA ŠIRINA	w [kN/m']
1	-0,50	3,36	-1,71
	-0,28	0,09	
2	-0,28	3,45+2,3	-1,61
3	-0,28	4,6	-1,29
4	-0,28	2,3+0,7	-1,14
	-0,11	2,75	
5	-0,11	3,45	-0,38



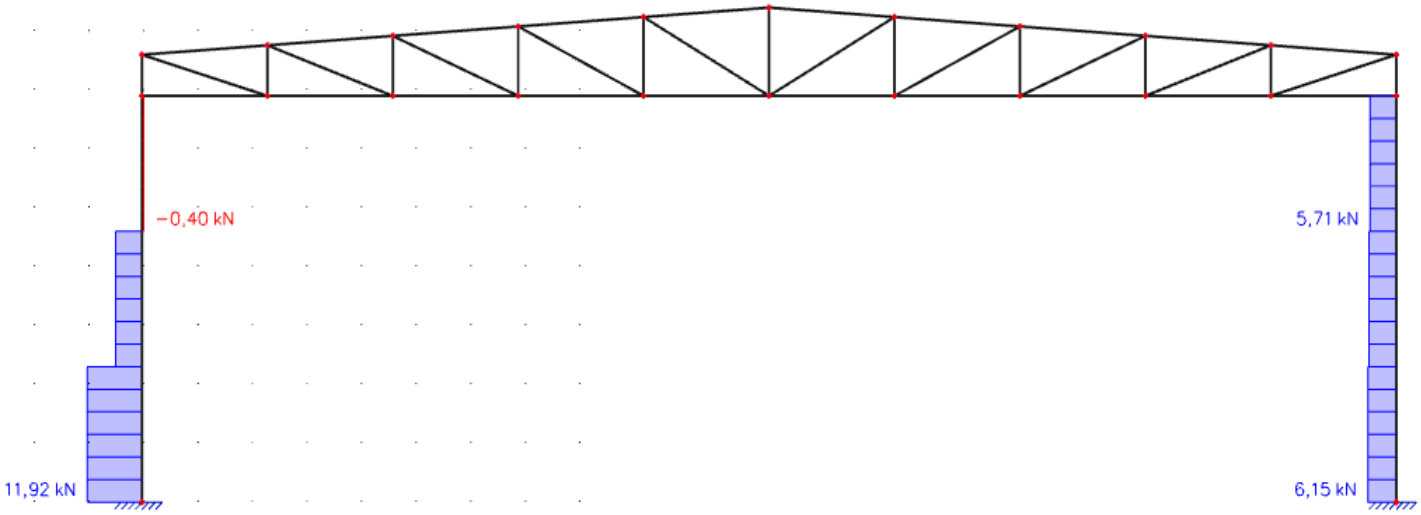
3 GRANIČNO STANJE UPORABE

3.1 Dijagrami reznih sila

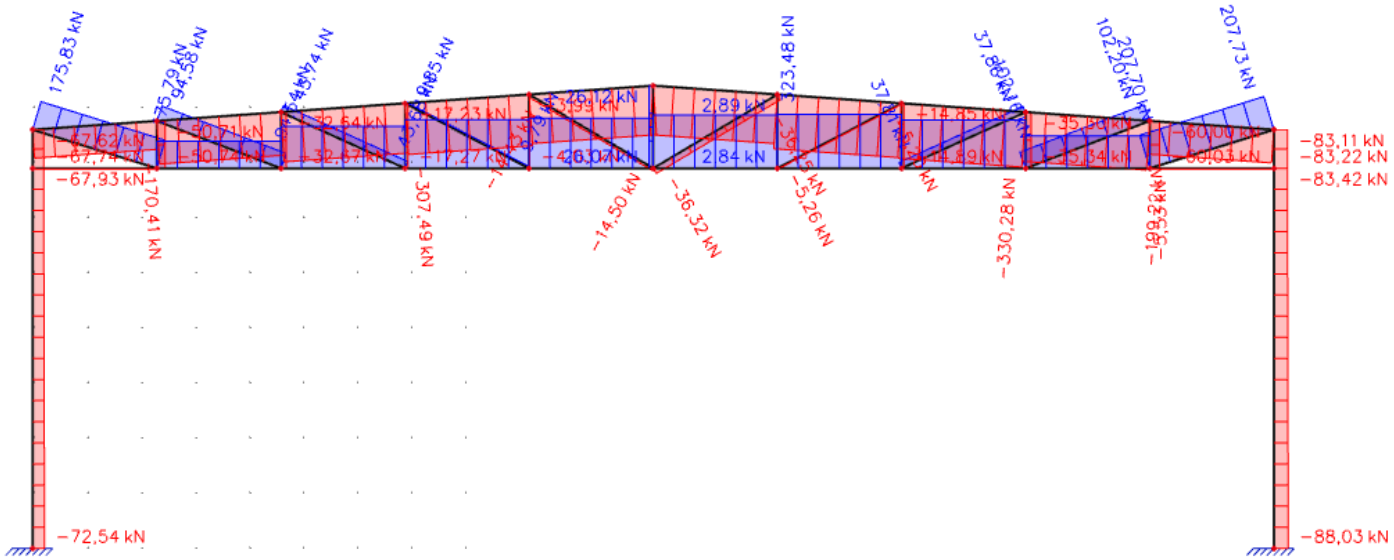
3.1.1 Prva kombinacija: 1G+1S+1W$_1$



Slika 3.1.1.1.Dijagram momenata

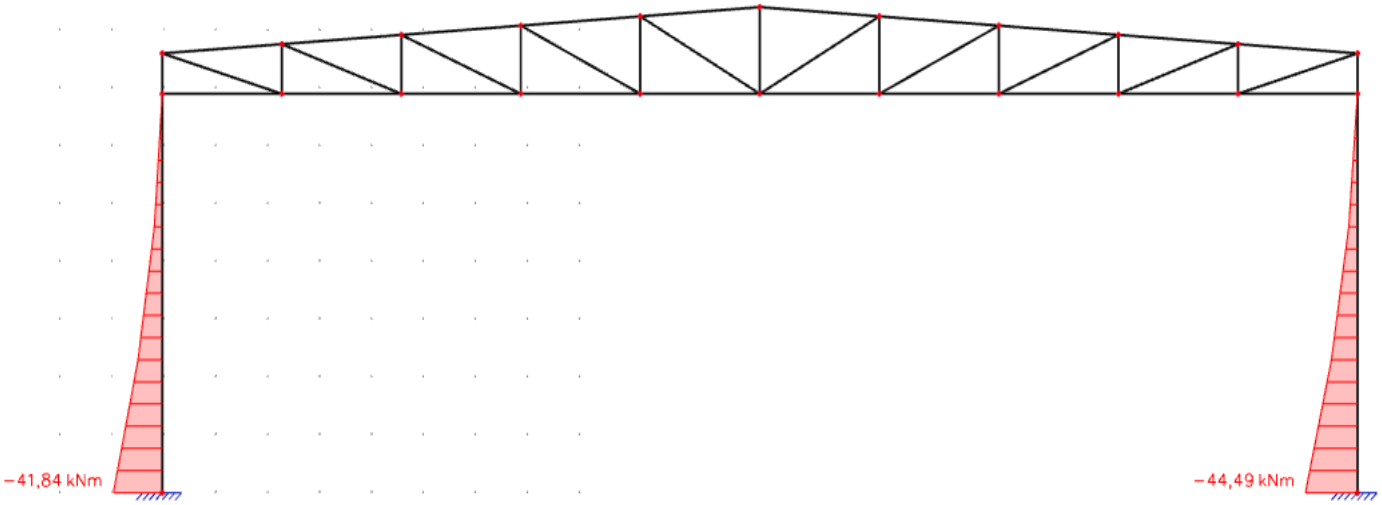


Slika 3.1.1.2. Dijagram poprečnih sila

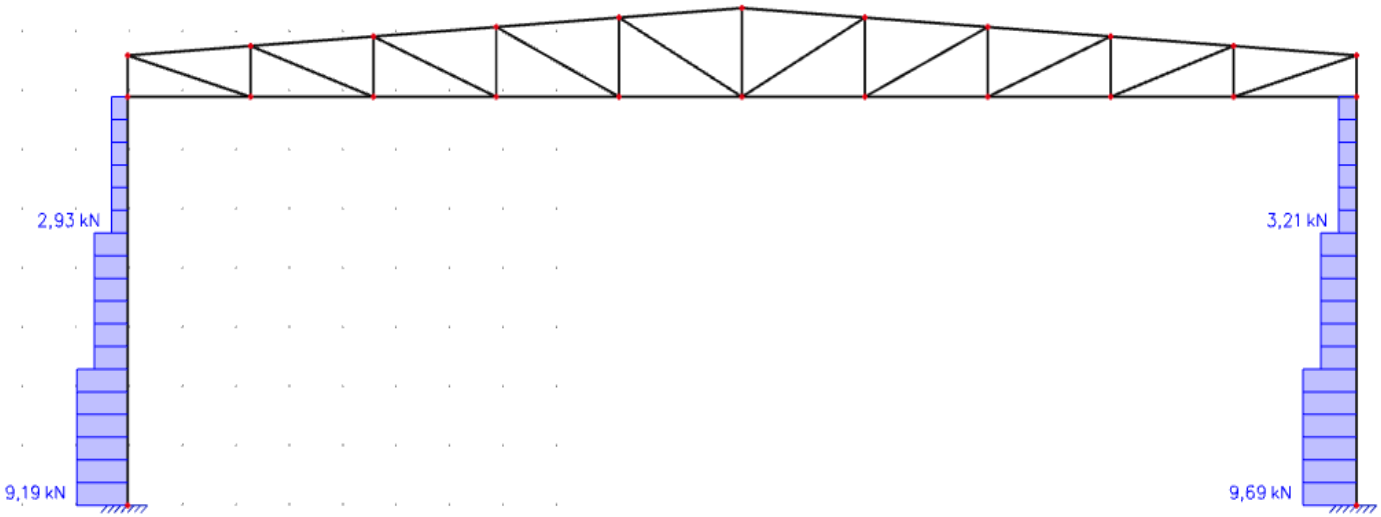


Slika 3.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila

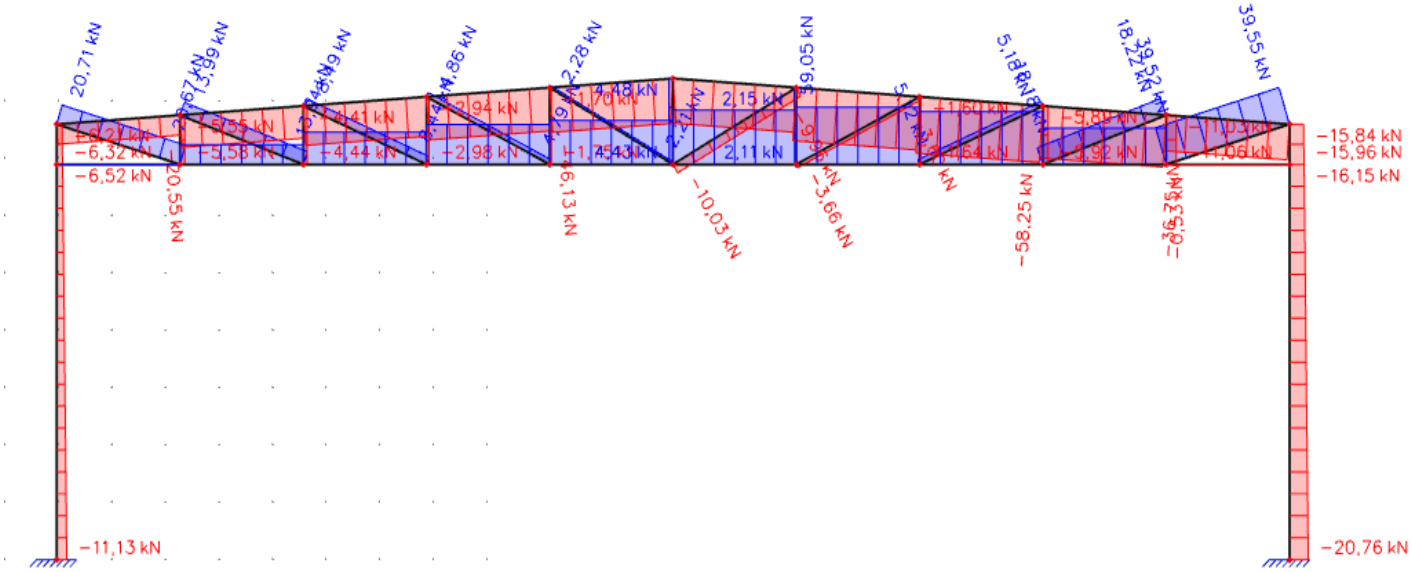
3.1.2 Druga kombinacija: 1G+1W$_2$



Slika 3.1.2.1. Dijagram momenata



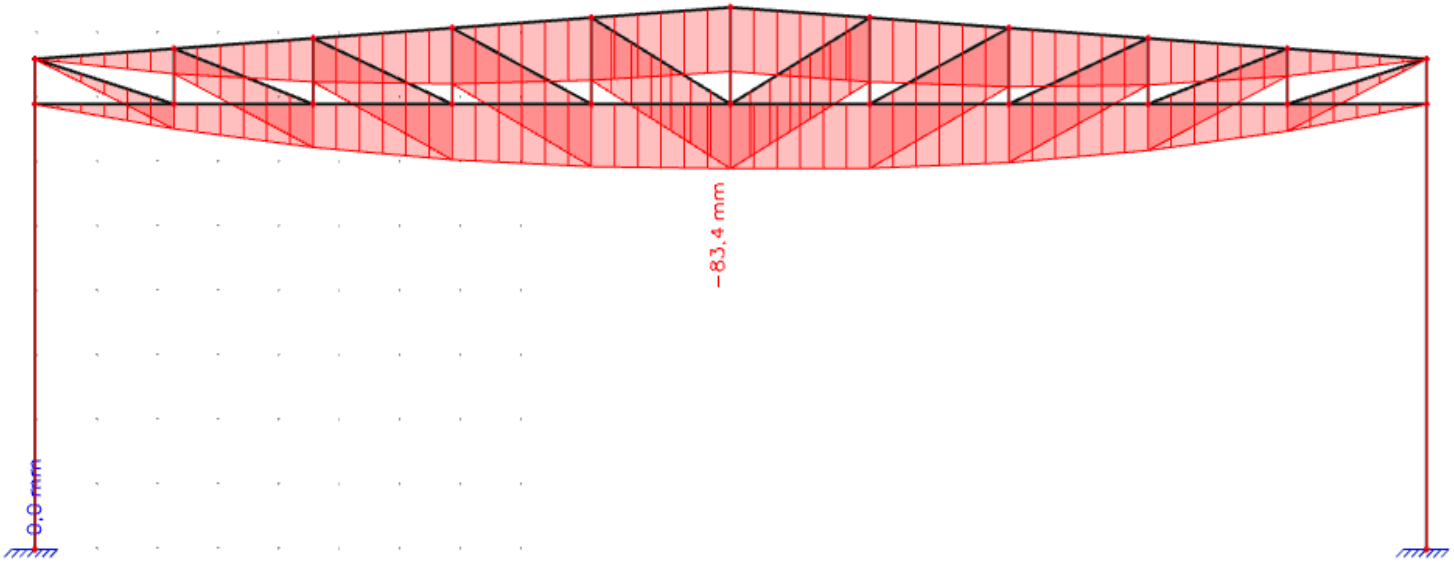
Slika 3.1.2.2. Dijagram poprečnih sila



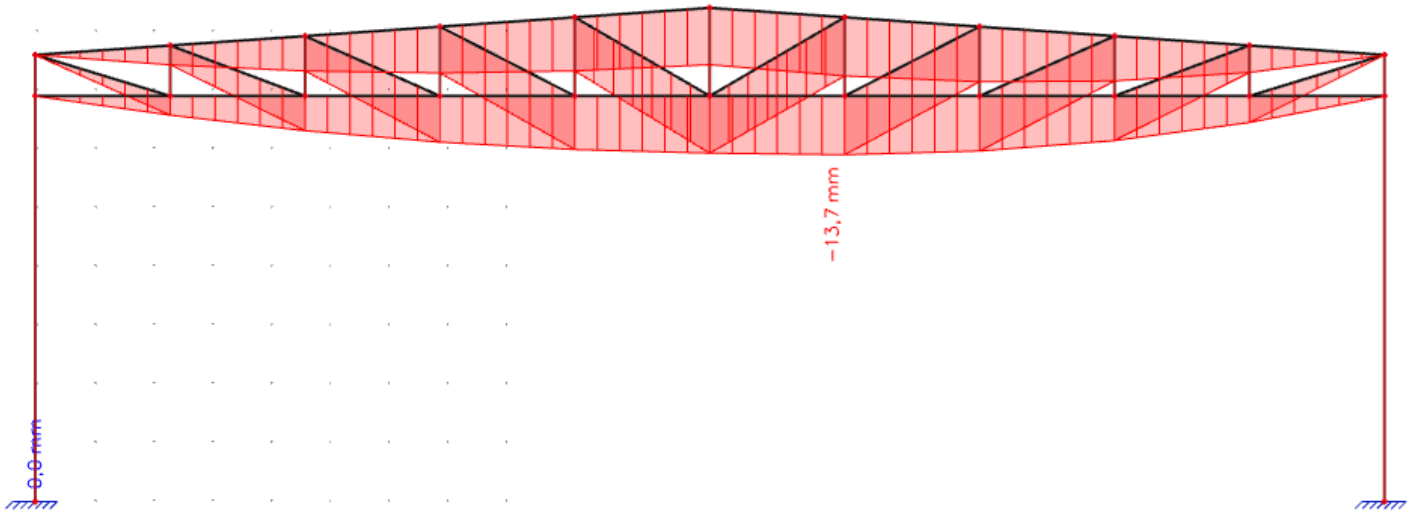
Slika 3.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila

3.2 Kontrola progiba

3.2.1 Vertikalni progibi



Slika 3.2.1.1. Vertikalni progib glavnog nosača uslijed prve kombinacije djelovanja



Slika 3.2.2.2. Vertikalni progib glavnog nosača uslijed druge kombinacije djelovanja

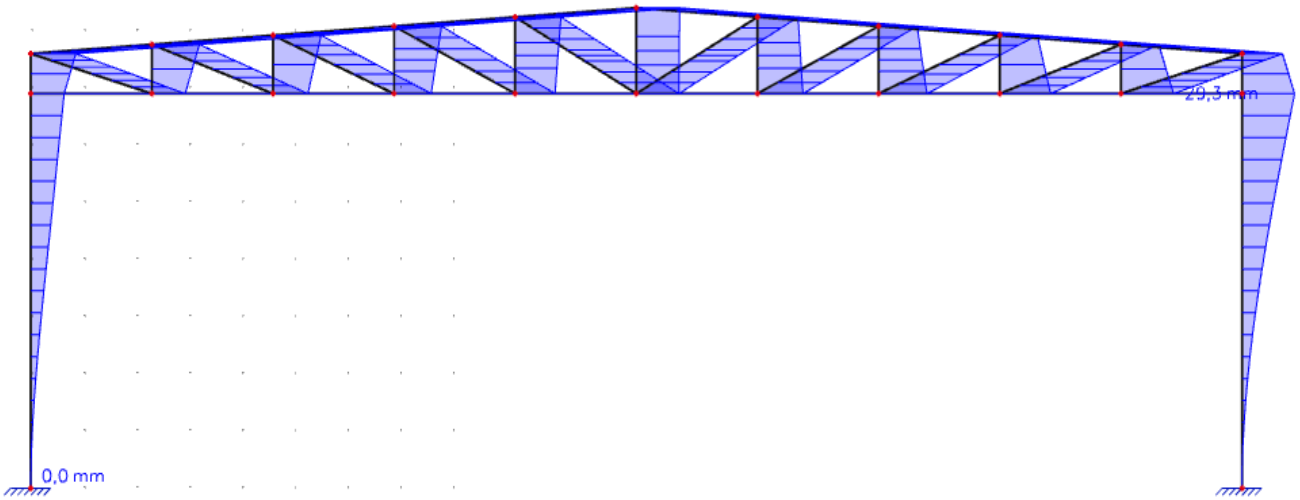
Najveći progib krovišta dobivamo za prvu kombinaciju **1,0*G+1,0*S+1,0*W_1**

Dopušteni progib: L/250= 23000*mm*/250=92 *mm*

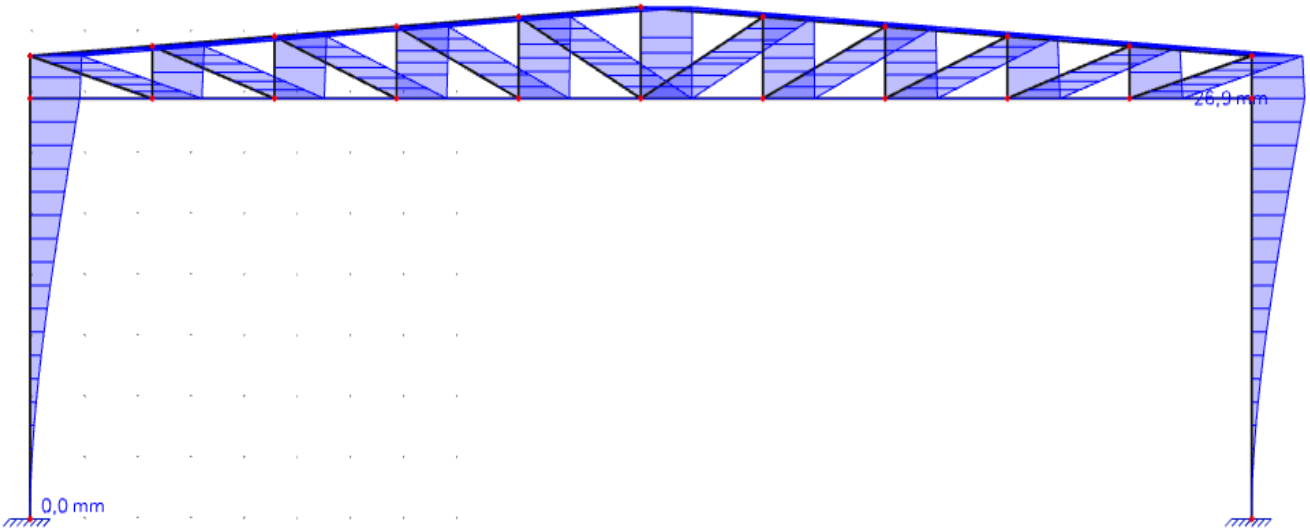
83,4/92 =0,9065=90,65 %

Najveći progib krovišta, u odnosu na dopušteni, zadovoljava s iskoristivosti od 90,65%.

3.2.2 Horizontalni pomak



Slika 3.2.2.1.Horiznotalni pomak glavnog nosača uslijed prve kombinacije djelovanja



Slika 3.2.2.2. Horizontalni pomak glavnog nosača uslijed druge kombinacije djelovanja

Najveći horizontalni pomak dobivamo za kombinaciju **1,0*G+1,0*S+1,0*W_1**

Dopušteni pomak: H/200= 6900*mm*/200 =34,5 *mm*

29,3/34,5 =0,8493=85,93%

Najveći pomak stupa, u odnosu na dopušteni, zadovoljava s iskoristivosti od 85,93%.

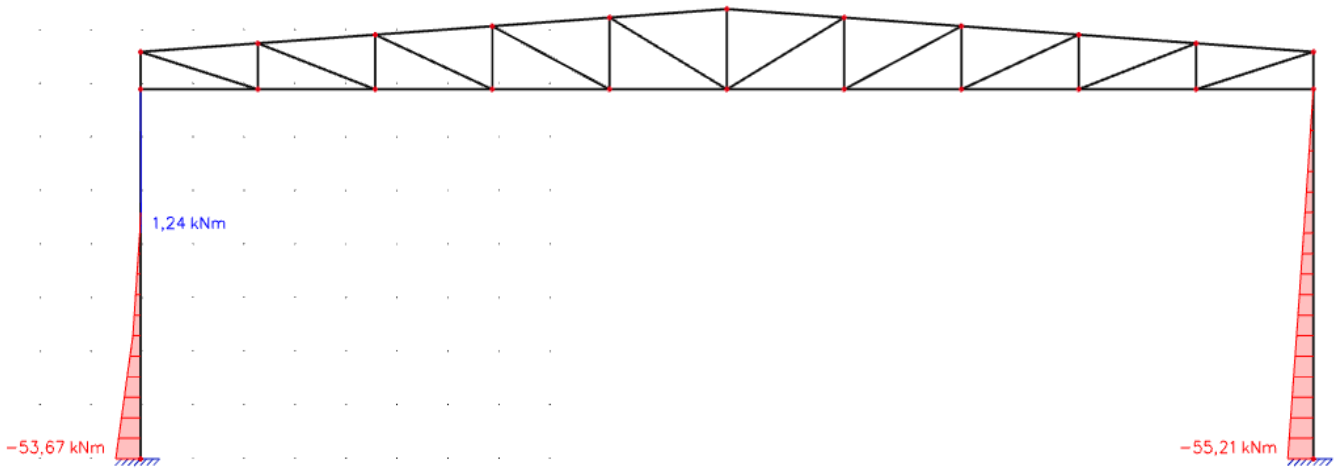
Usvojeni profili:

1) Stupovi: HEA 260
2) Rešetkasta konstrukcija:
    a) vertikale: SHS 40/40/3.0
    b) dijagonale: SHS 60/60/3.0
    c) gornji pojas:SHS 140/140/4.0
    d) donji pojas: SHS 140/140/4.0
3) Dijagonale krovnih spregova: RD 12
4) Dijagonale bočnih spregova: RD12
5) Krovna podrožnica: IPE 300
6) Bočna podrožnica: IPE 300

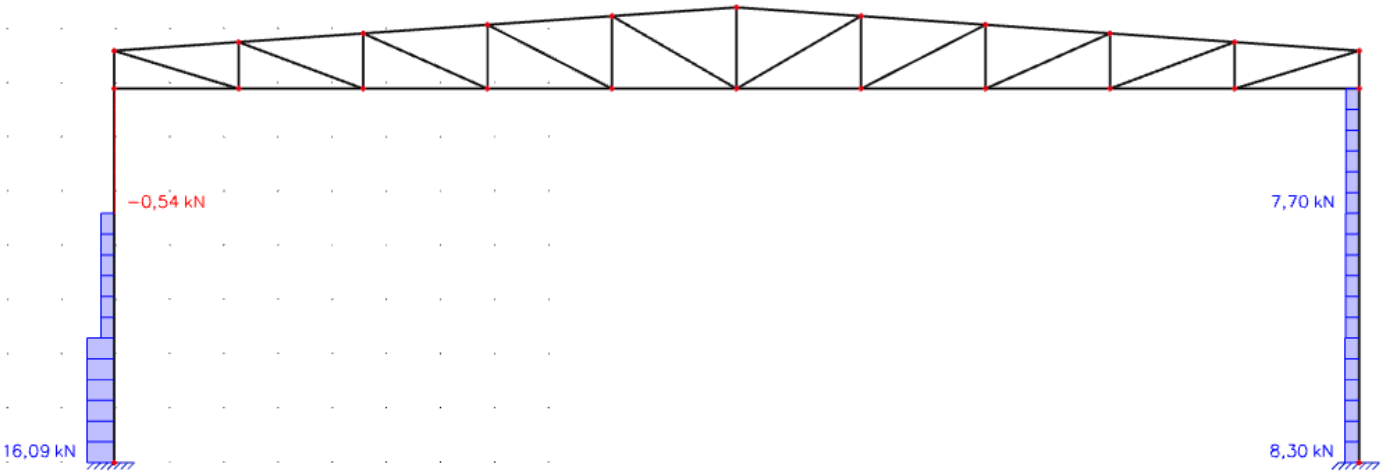
4 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

4.1 Dijagrami reznih sila

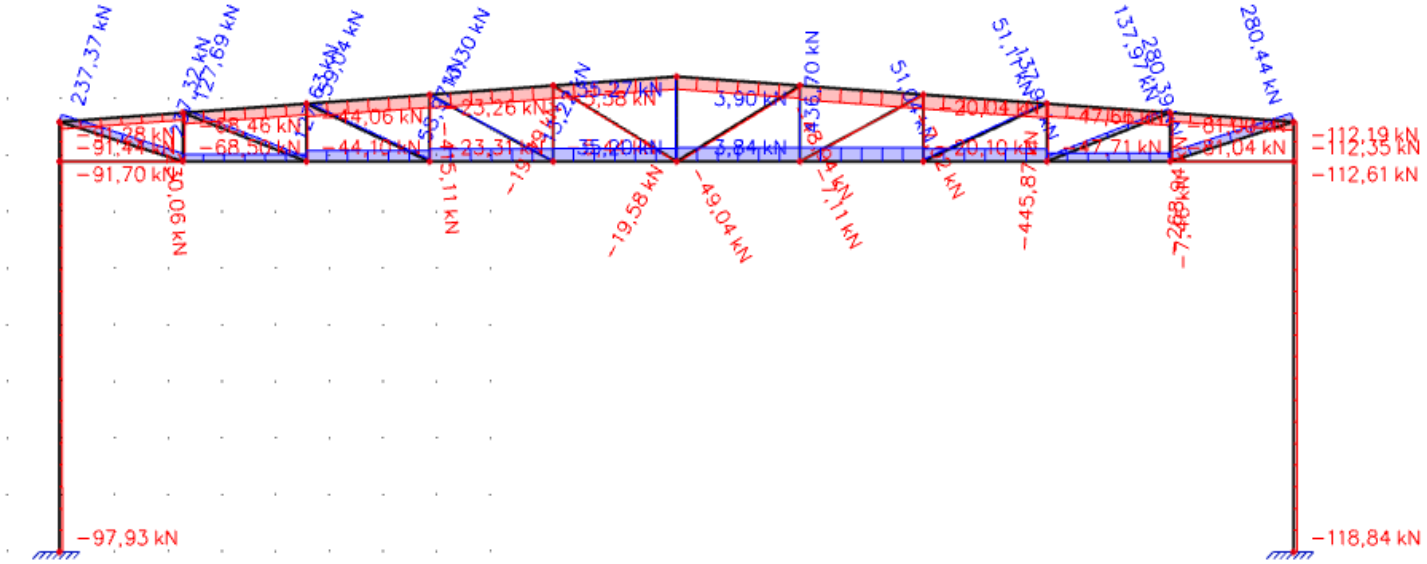
4.1.1 Prva kombinacija: 1,35G+0,9*1,5(S+W$_1$)



Slika 4.1.1.1. Dijagram momenata

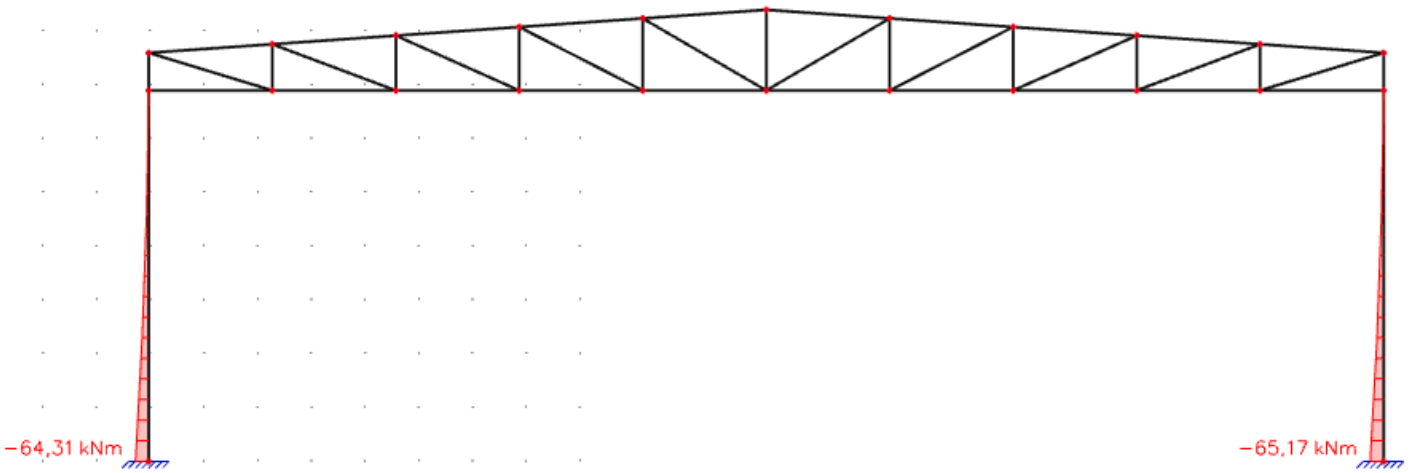


Slika 4.1.1.2. Dijagram poprečnih sila

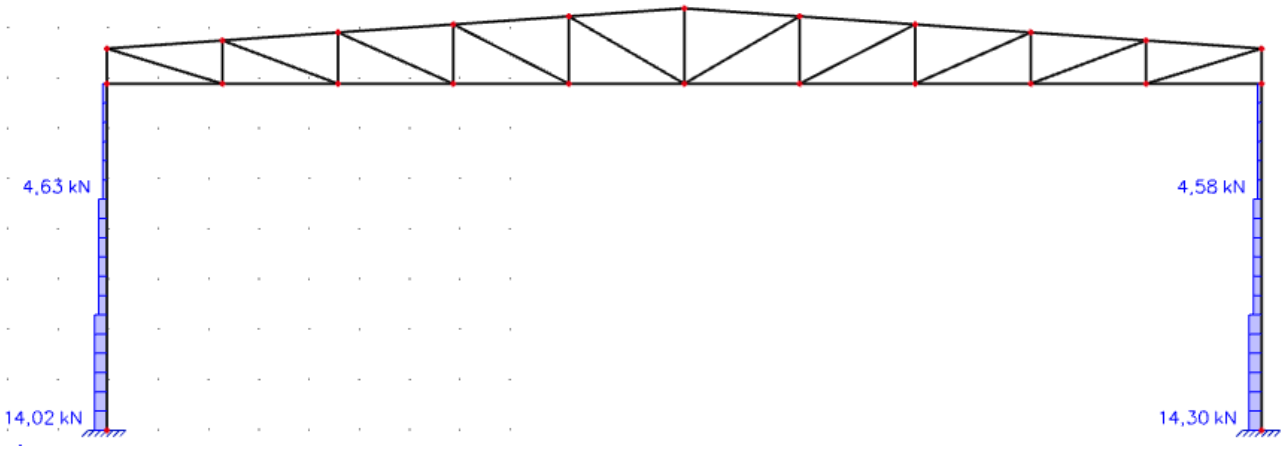


Slika 4.1.1.3. Dijagram uzdužnih sila

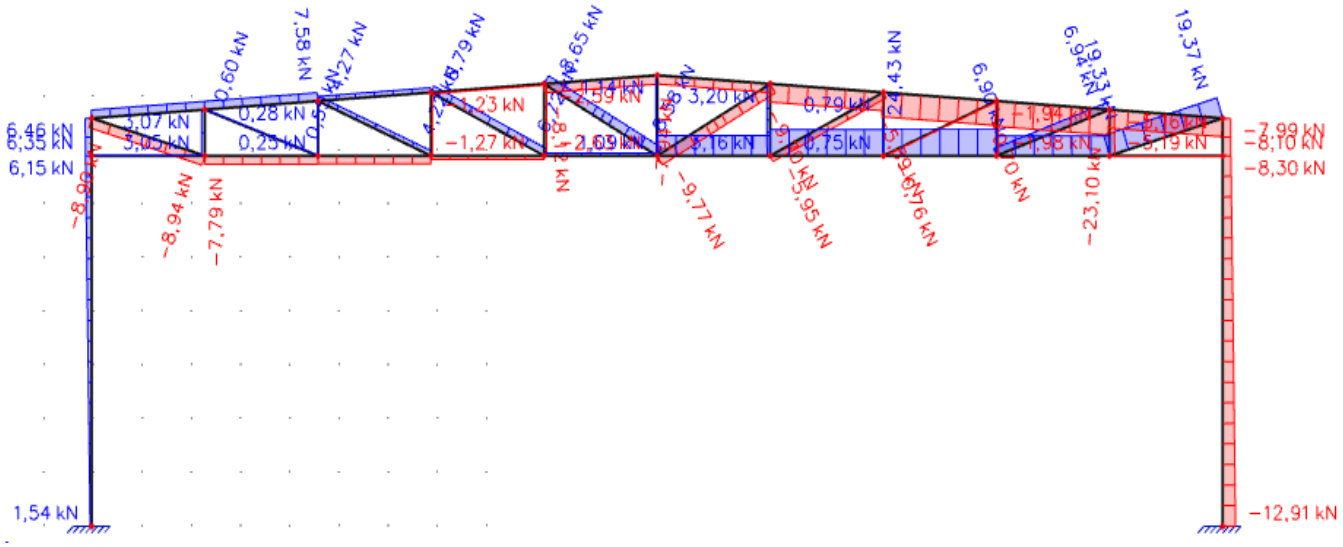
4.1.2 Druga kombinacija: 1G+1W2



Slika 4.1.2.1. Dijagram momenata

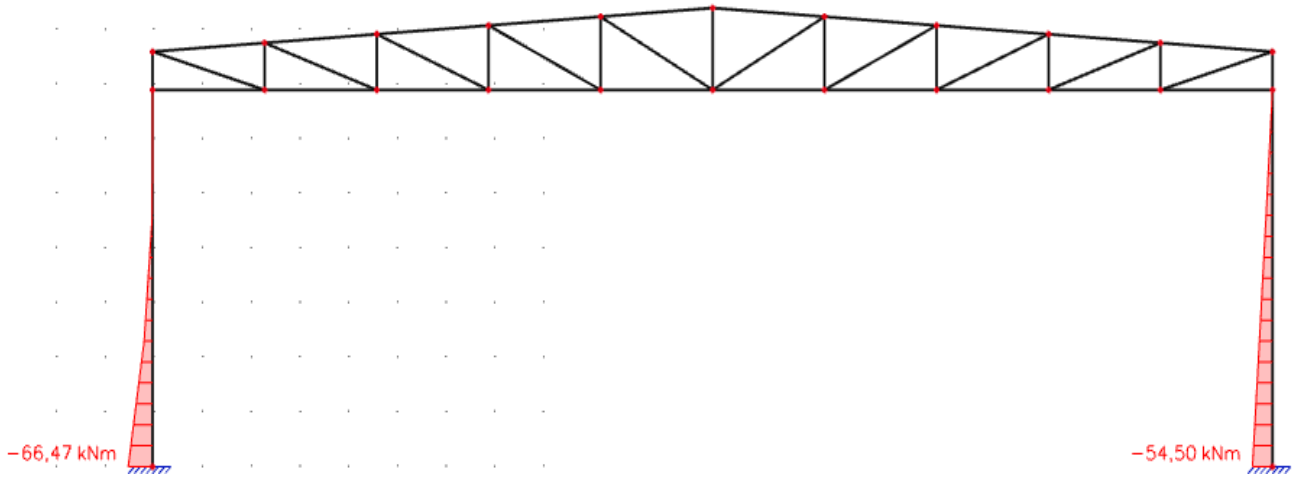


Slika 4.1.2.2. Dijagram poprečnih sila

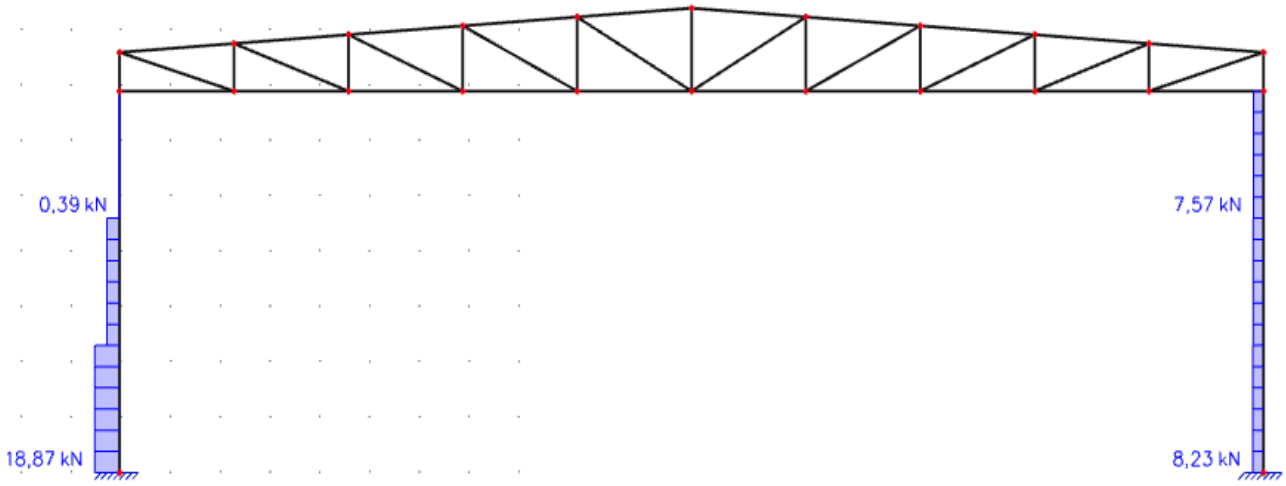


Slika 4.1.2.3. Dijagram uzdužnih sila

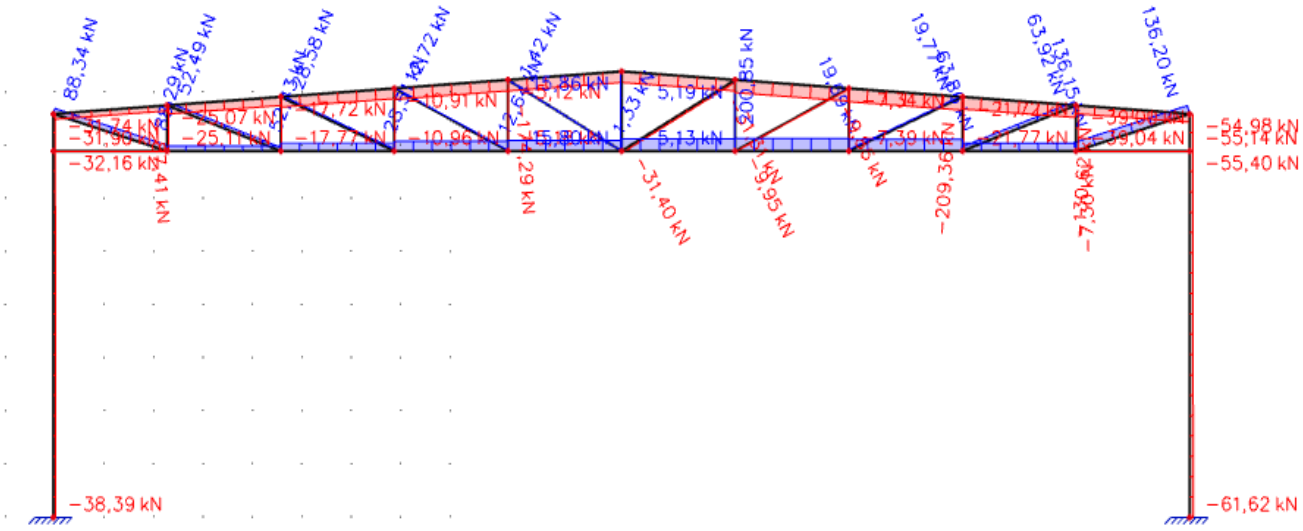
4.1.3 Treća kombinacija: 1,35G+1,5W_1



Slika 4.1.3.1. Dijagram momenata

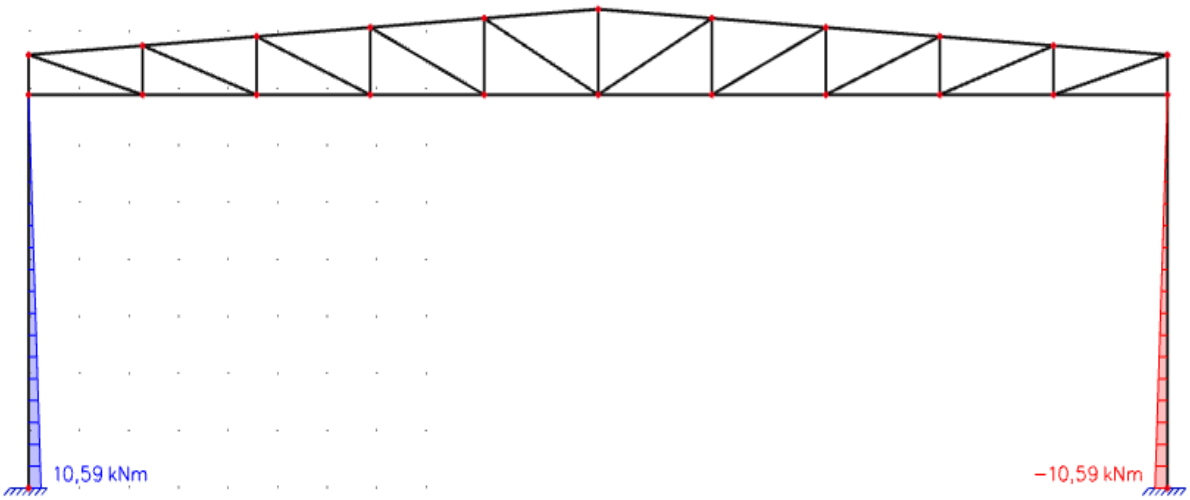


Slika 4.1.3.2. Dijagram poprečnih sila

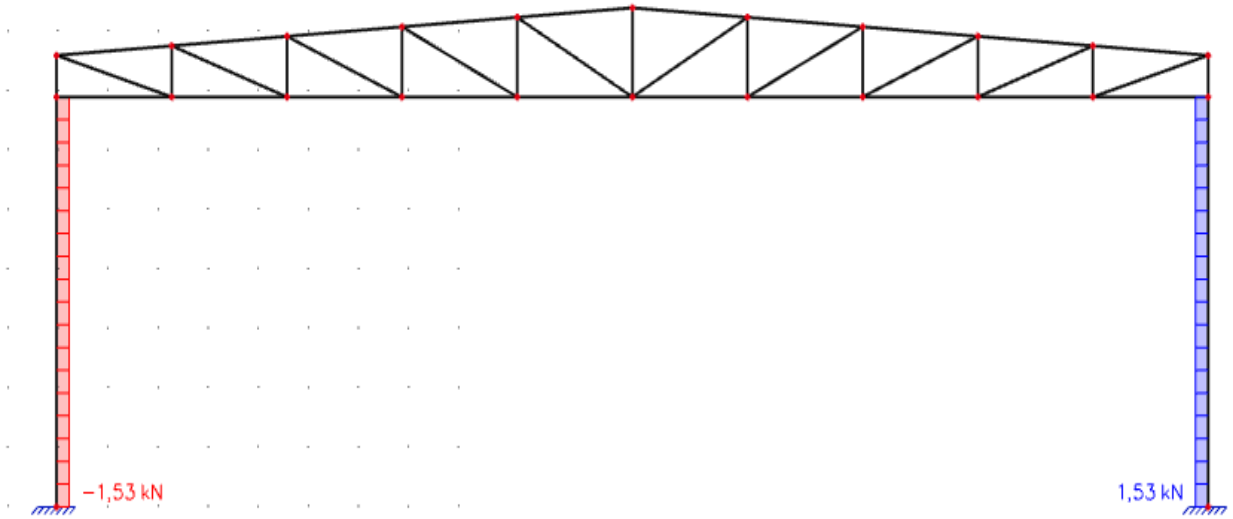


Slika 4.1.3.3. Dijagram uzdužnih sila

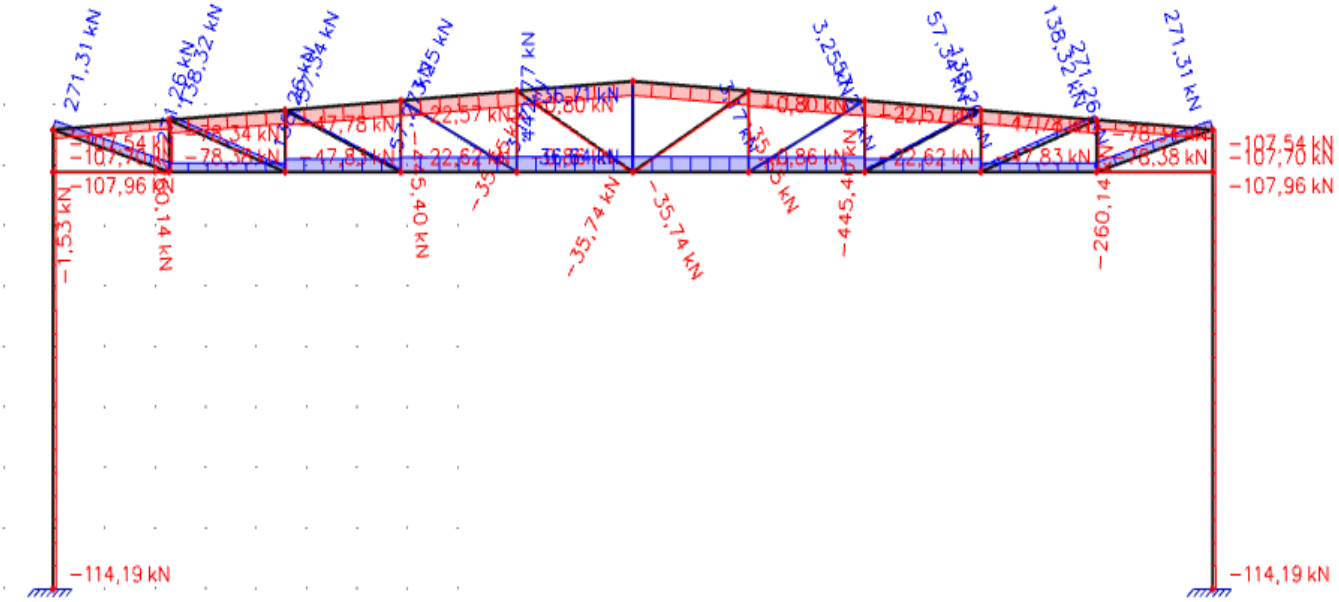
4.1.4 Četvrta kombinacija: 1,35G+1,5S



Slika 4.1.4.1. Dijagram momenata

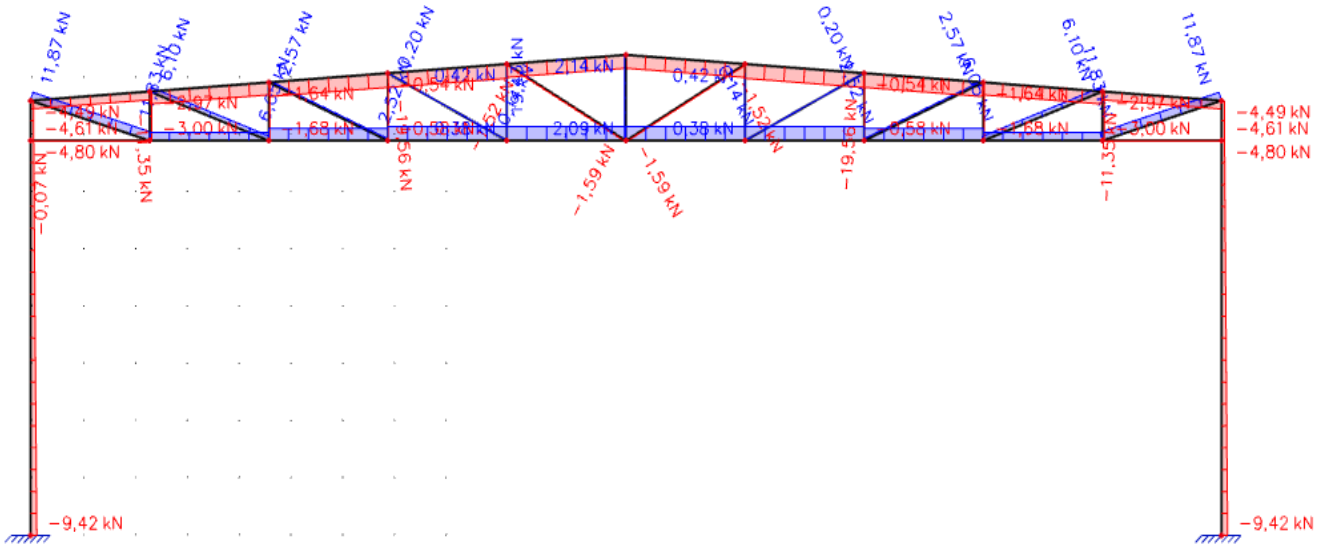


Slika 4.1.4.2. Dijagram poprečnih sila

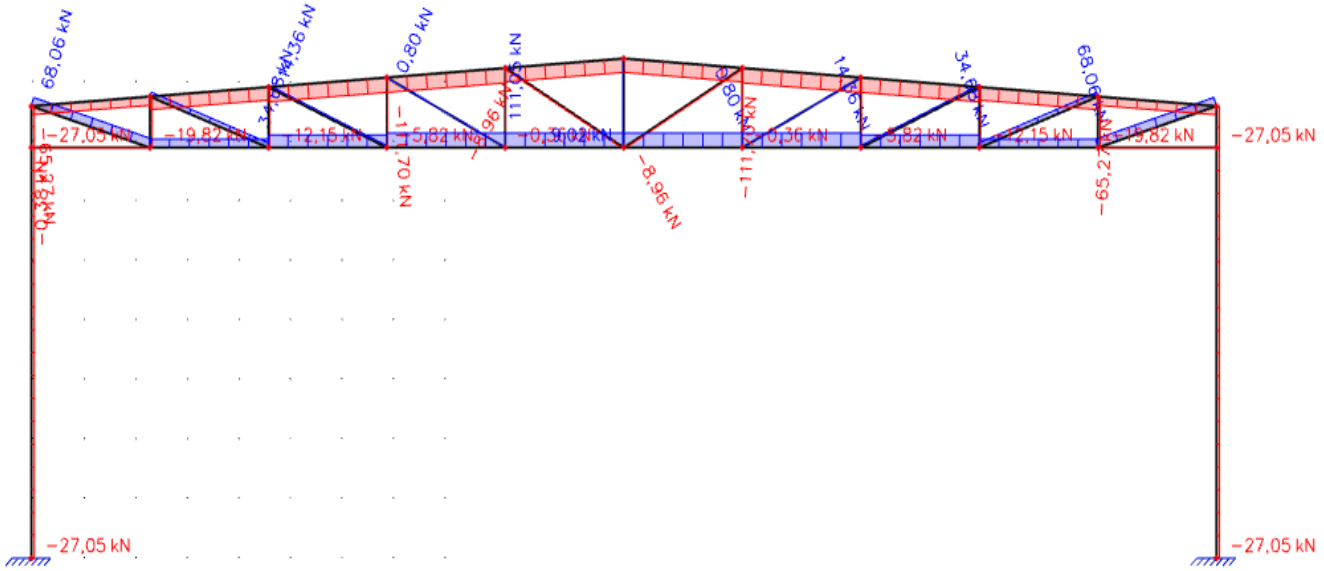


Slika 4.1.4.3. Dijagram uzdužnih sila

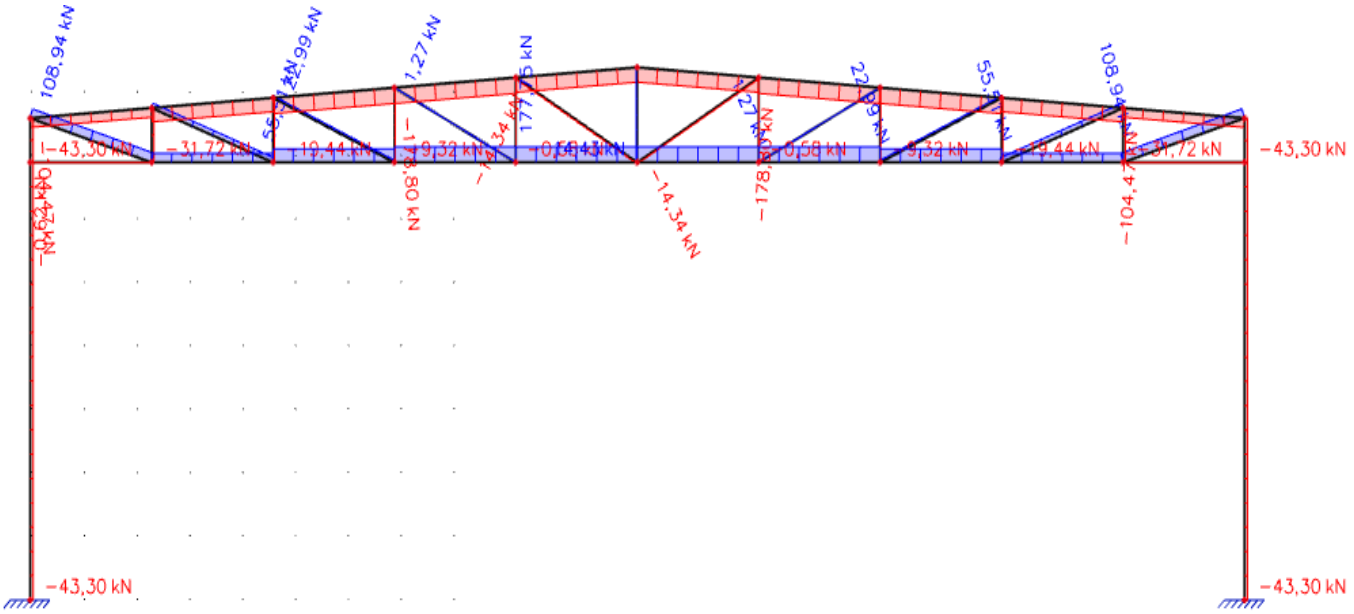
4.2 Glavni okvir



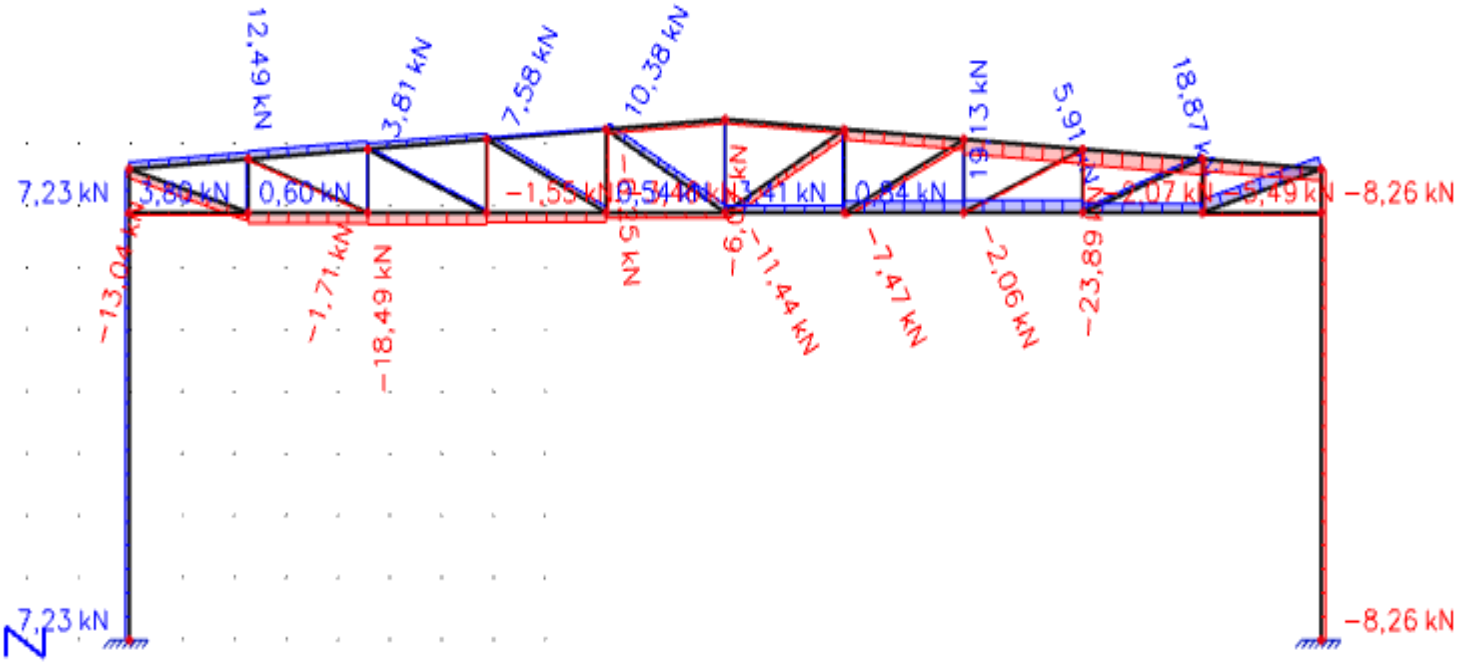
Slika 4.2.1. Dijagram uzdužnih sila uslijed vlastite težine



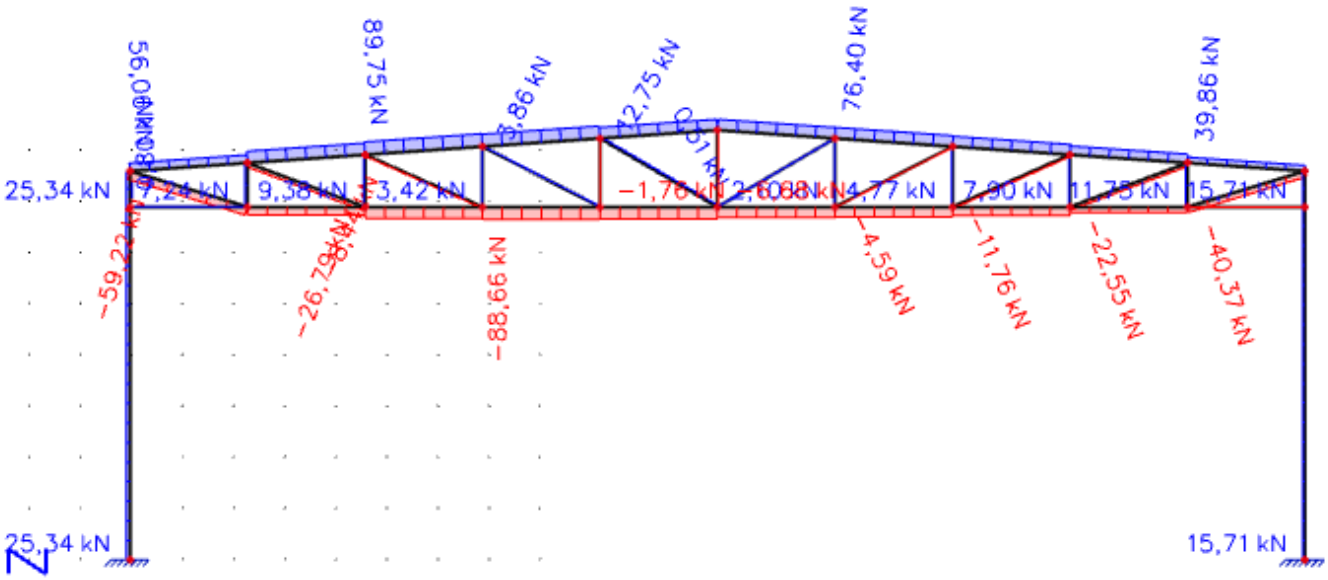
Slika 4.2.2. Dijagram uzdužnih sila uslijed dodatne težine



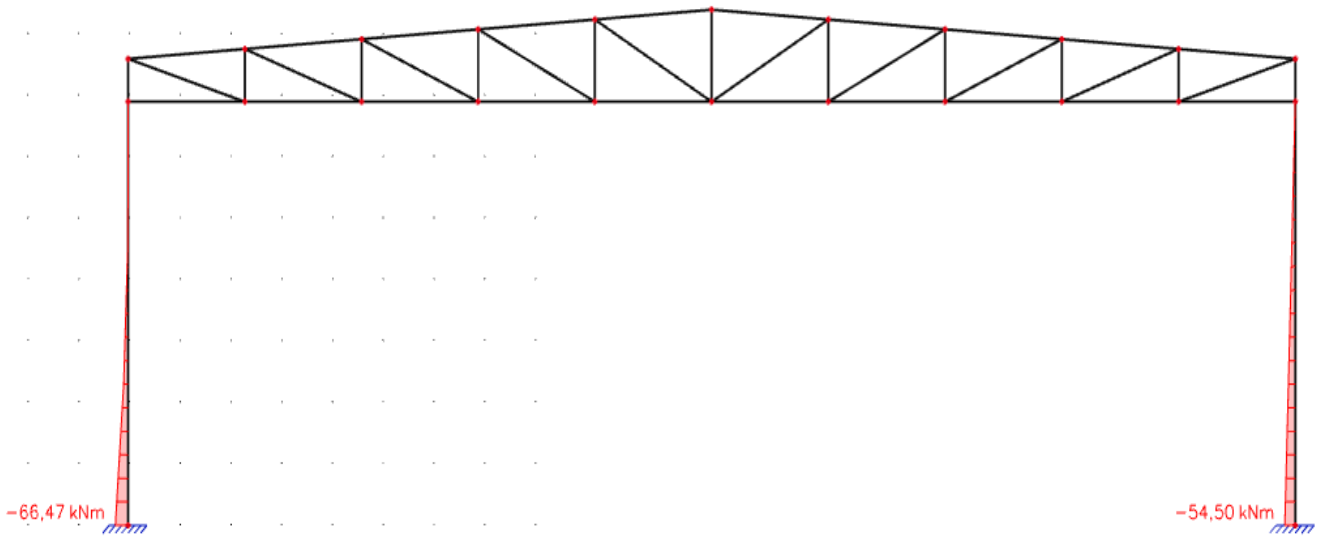
Slika 4.2.3. Dijagram uzdužnih sila uslijed opterećenja snijegom



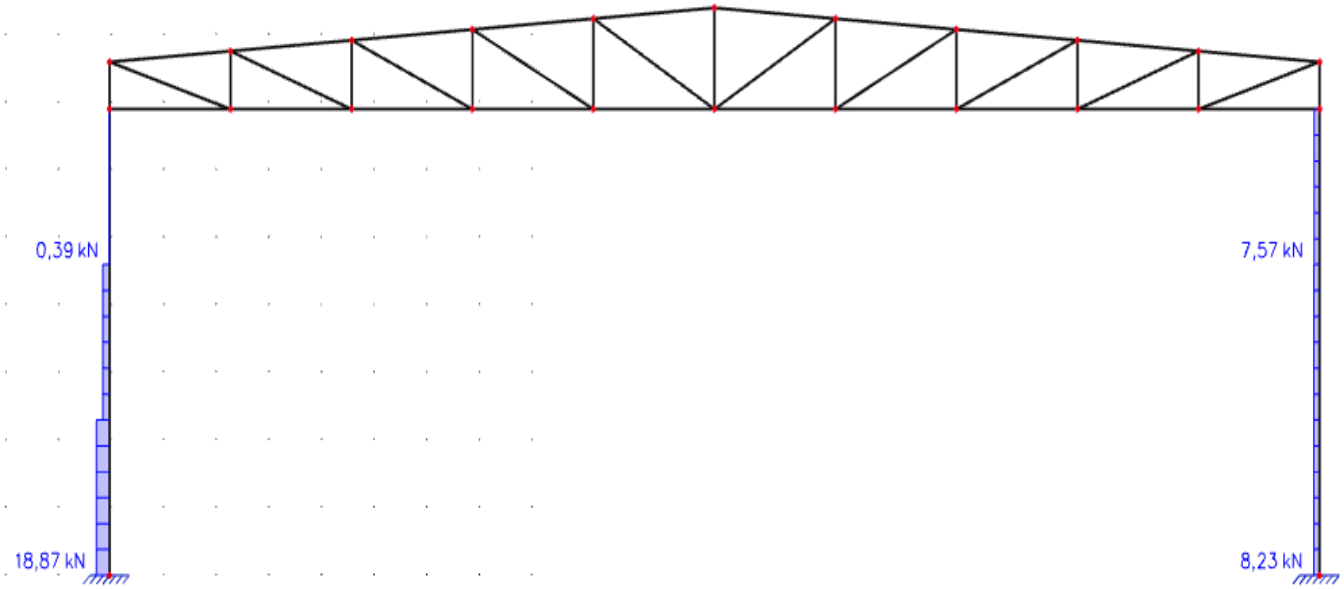
Slika 4.2.4. Dijagram uzdužnih sila uslijed opterećenja vjetrom W_1



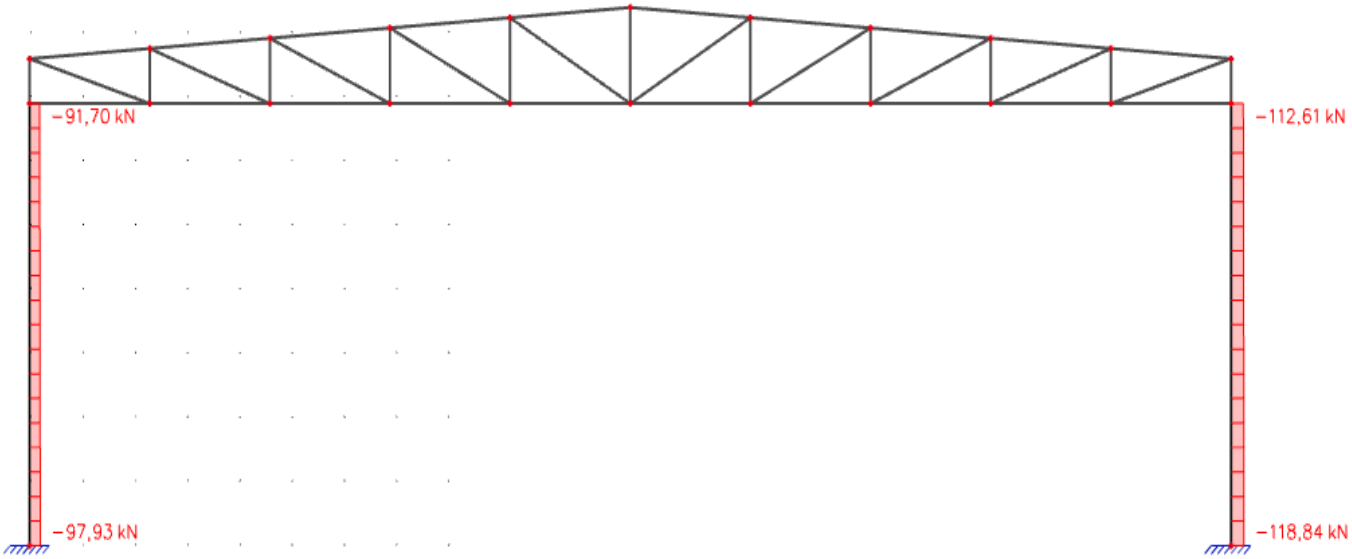
Slika 4.2.5. Dijagram uzdužnih sila uslijed opterećenja vjetrom W_2



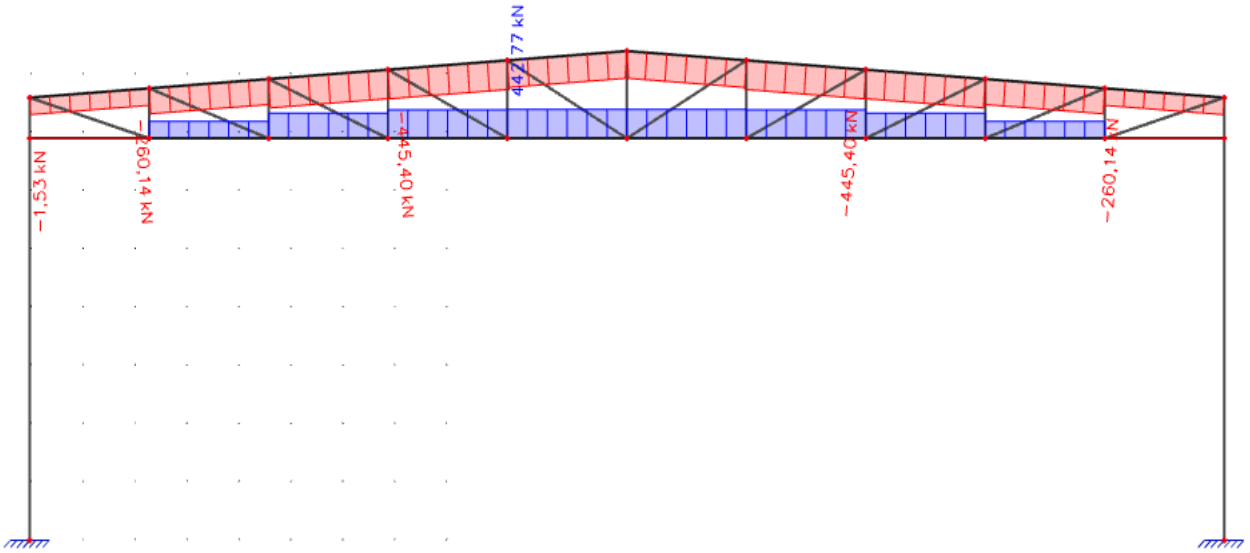
Slika 4.2.6. Dijagram momenata u stupovima za kritičnu kombinaciju $1,35G+1,5W_1$



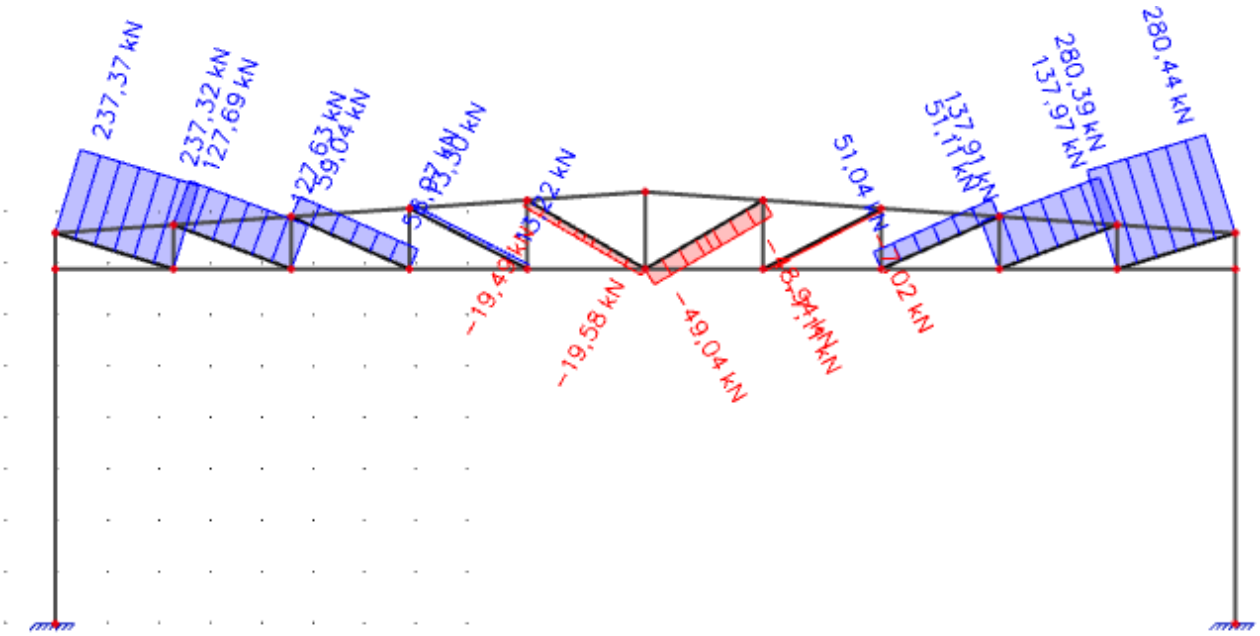
Slika 4.2.7. Dijagram poprečnih sila u stupovima za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,5W$_1$



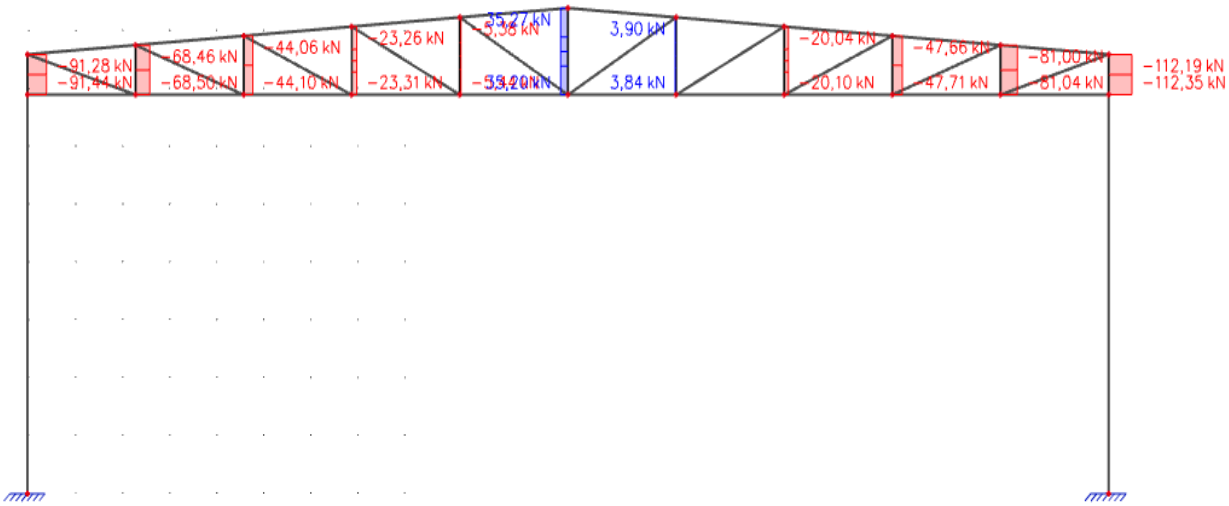
Slika 4.2.8. Dijagram uzdužnih sila u stupovima za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,35S+1,35W$_1$



Slika 4.2.9. Dijagram uzdužnih sila u gornjem i donjem pojasu za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,5S

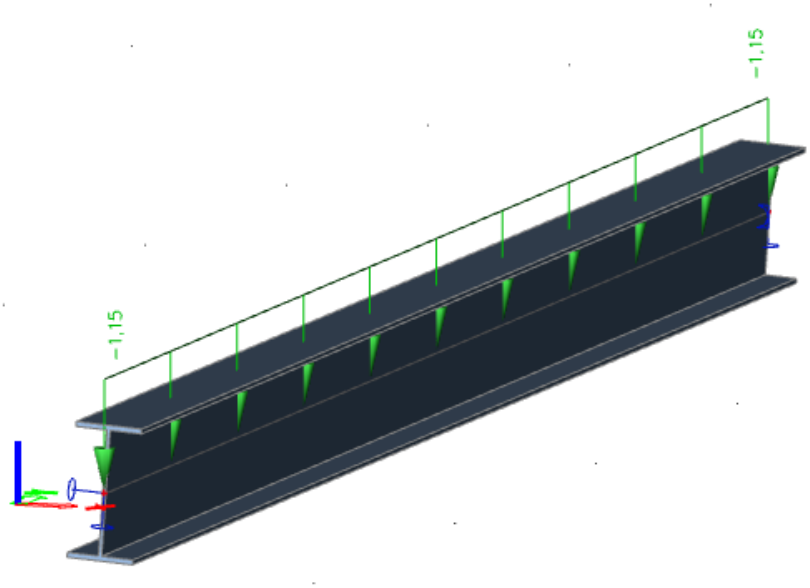


Slika 4.2.10. Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,35S+1,35W$_1$

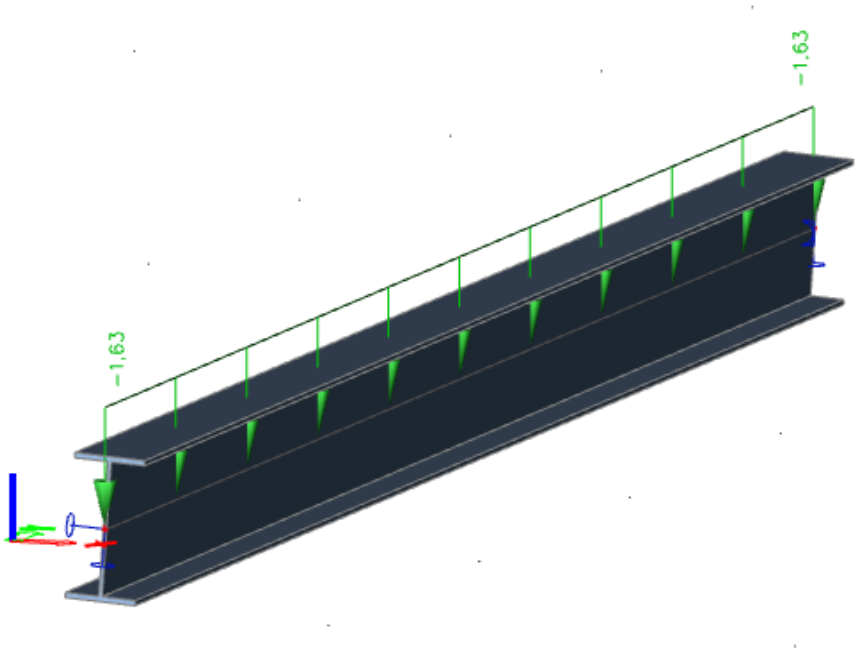


Slika 4.2.11. Dijagram uzdužnih sila u vertikalama za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,35S+1,35W$_1$

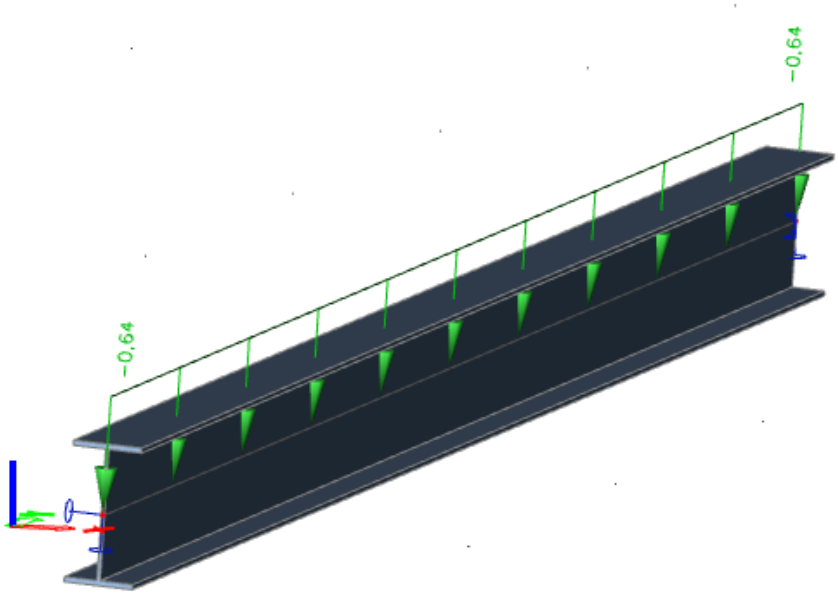
4.3 Krovna podrožnica



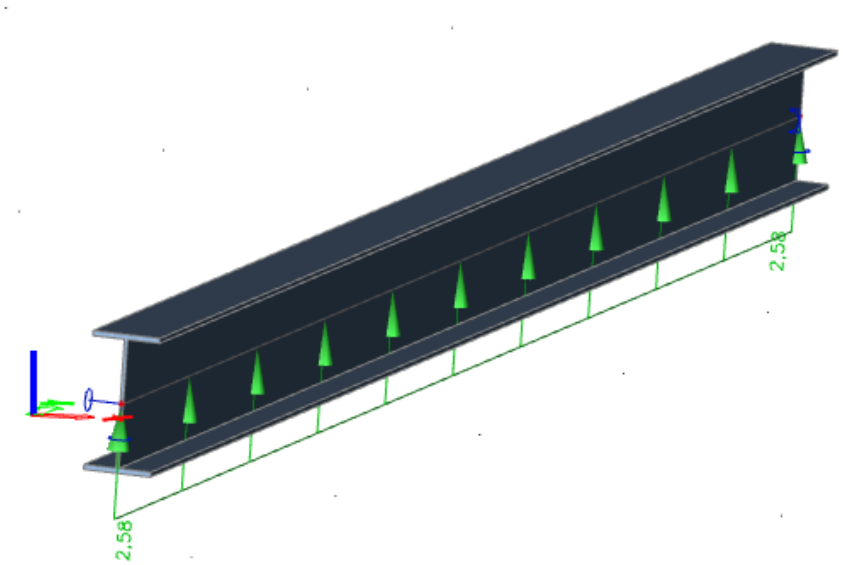
Slika 4.3.1. opterećenje dodatnom težinom na krovnoj podrožnici



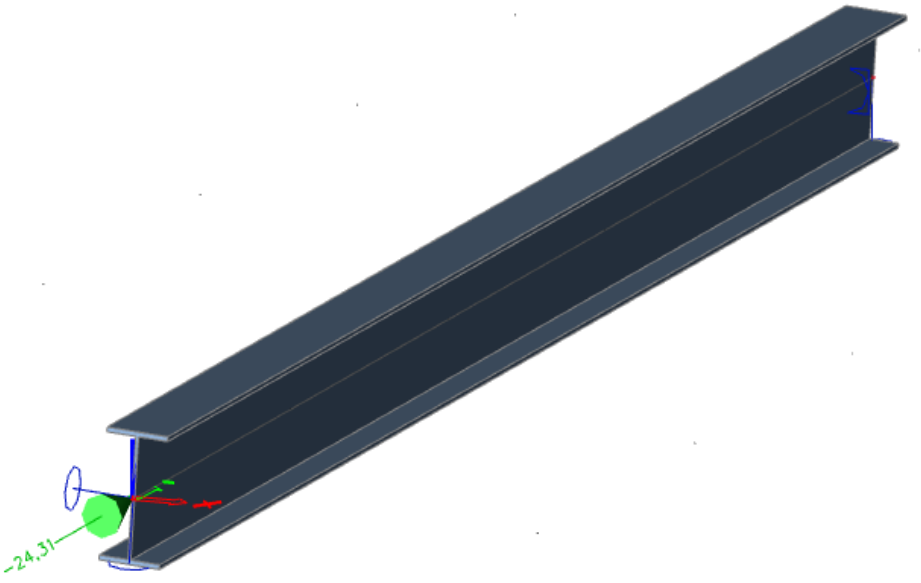
Slika 4.3.2. opterećenje snijegom na krovnoj podrožnici



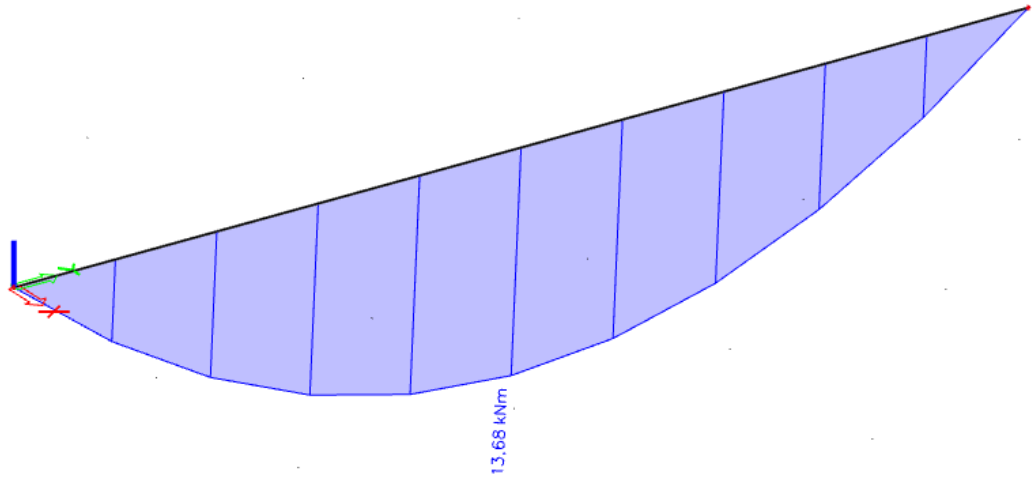
Slika 4.3.3. opterećenje pritiskajućim vjetrom W_1 na krovnoj podrožnici



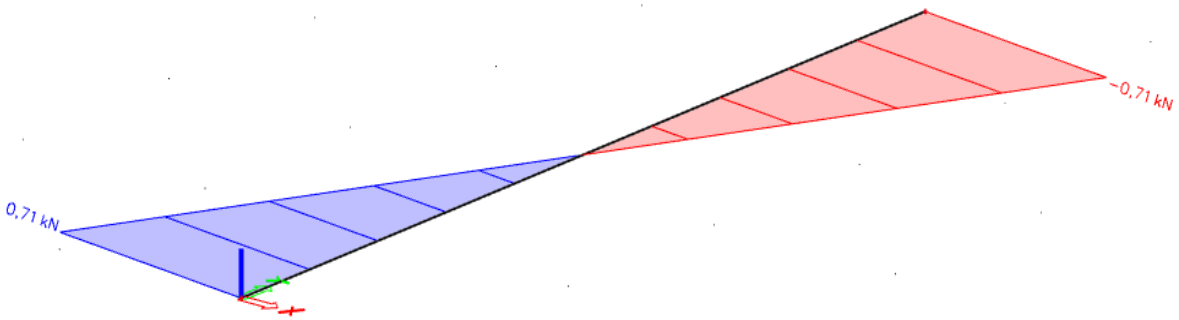
Slika 4.3.4. opterećenje odižućim vjetrom w_2 na krovnoj podrožnici



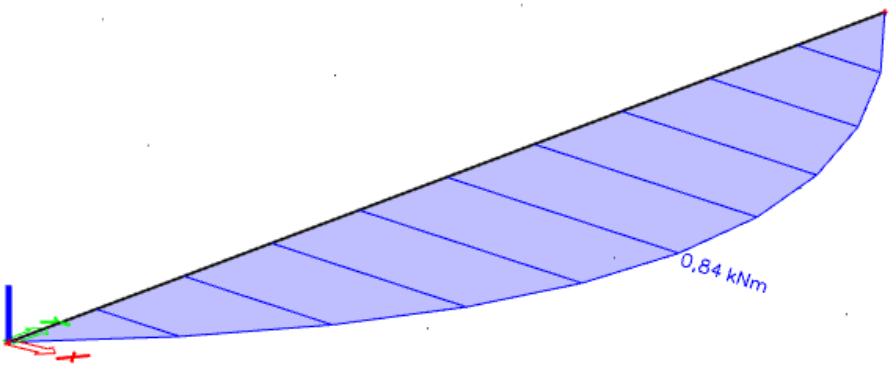
Slika 4.3.5. reakcija od krovnog sprega na krovnoj podrožnici



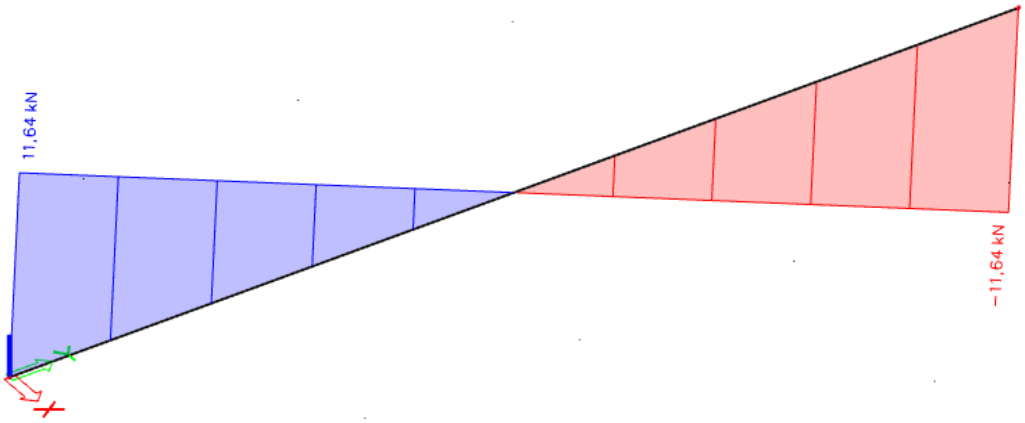
*Slika 4.3.6. Dijagram momenata M_y oko y osi za kritičnu kombinaciju 1,35G*1,35S+1,35W$_1$*



*Slika 4.3.7. Dijagram poprečnih sila V_y za kritičnu kombinaciju 1,35G*1,5S*

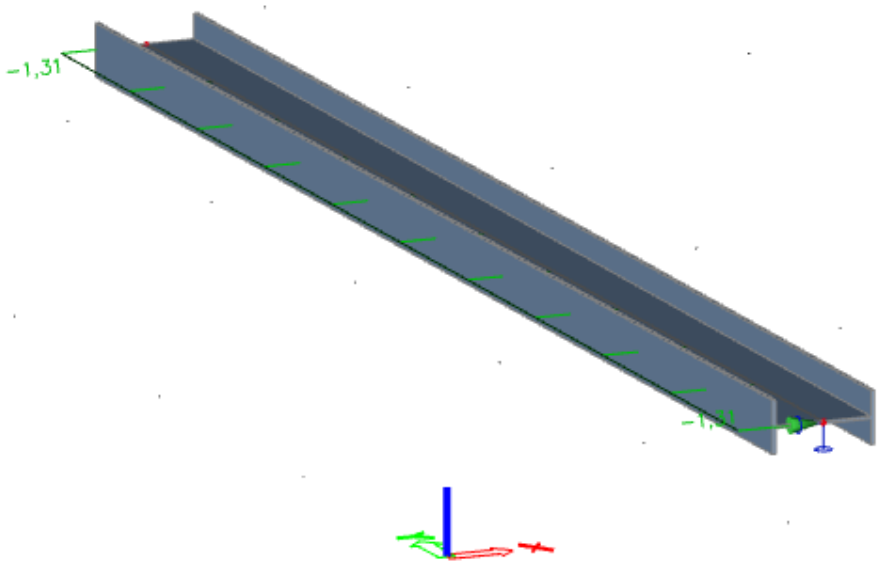


*Slika 4.3.8. Dijagram momenata M_z za kritičnu kombinaciju 1,35G*1,5S*

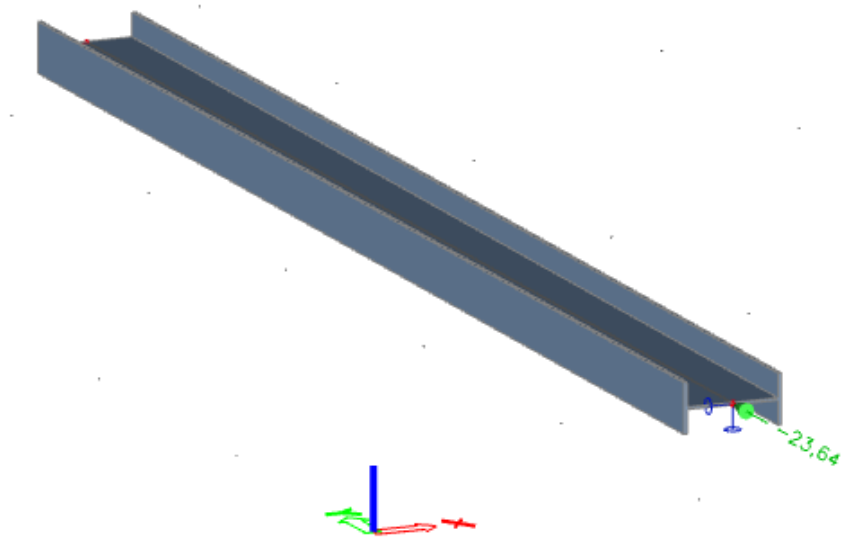


*Slika 4.3.9. Dijagram poprečnih sila V_z za kritičnu kombinaciju 1,35G*1,35S+1,35W$_1$*

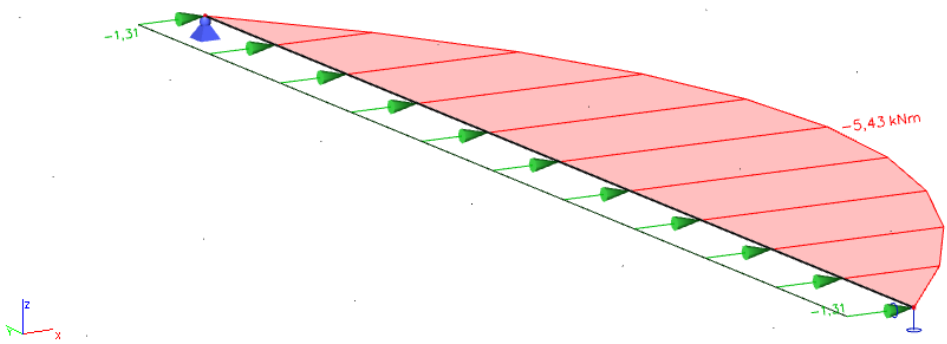
4.4 Bočna podrožnica



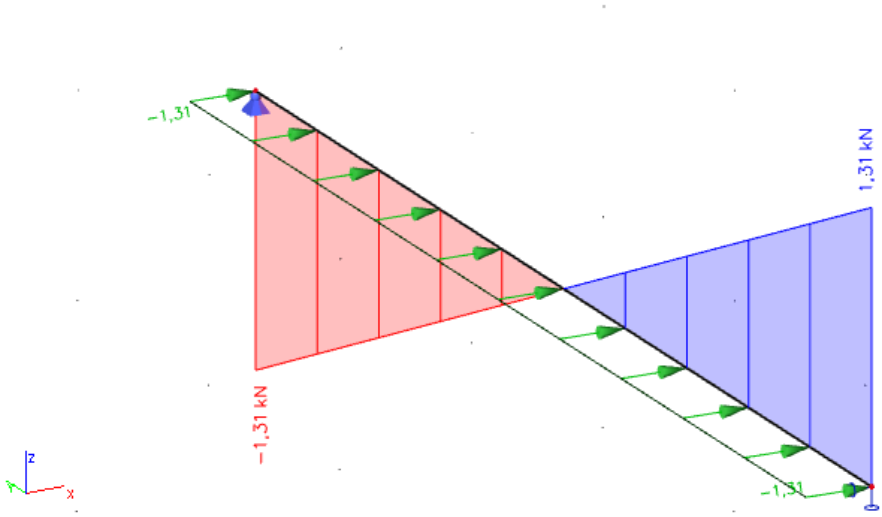
Slika 4.4.1. Opterećenje vjetrom na bočnoj podrožnici



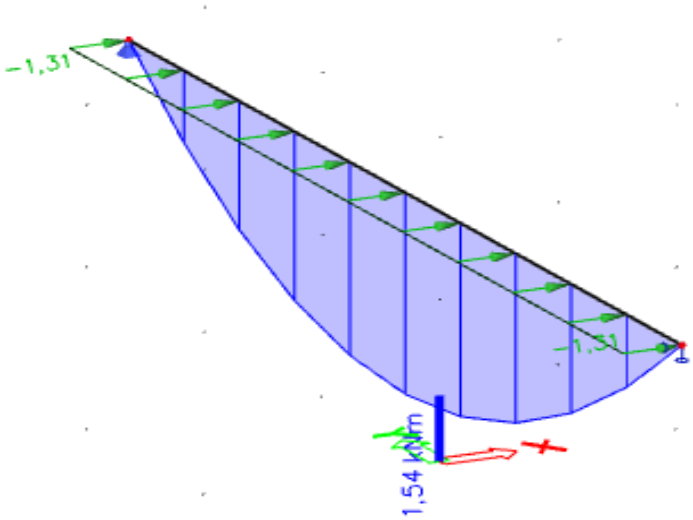
Slika 4.4.2. Reakcija od bočnih spregova na bočnoj podrožnici



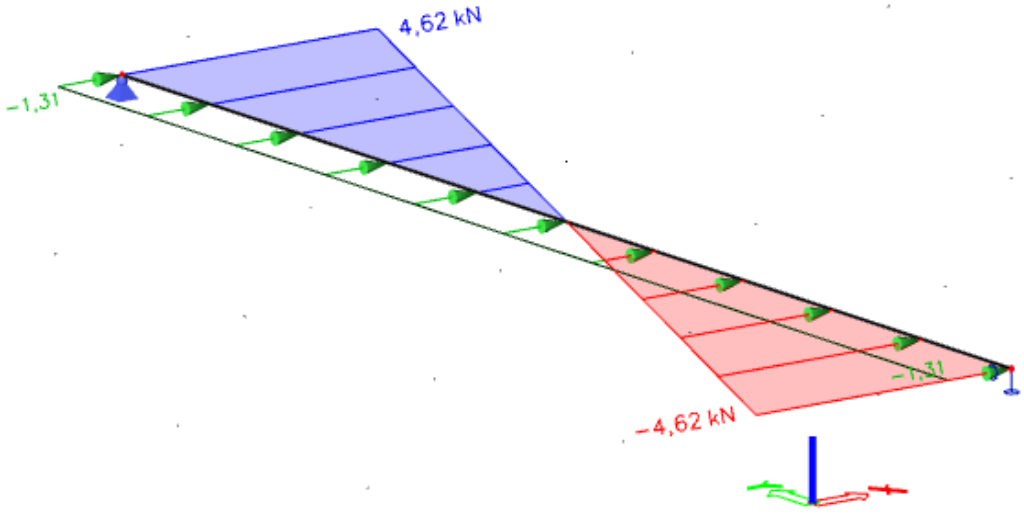
Slika 4.4.3. Dijagram momenata M_y za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,5W



Slika 4.4.4. Dijagram poprečnih sila V_y za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,5W

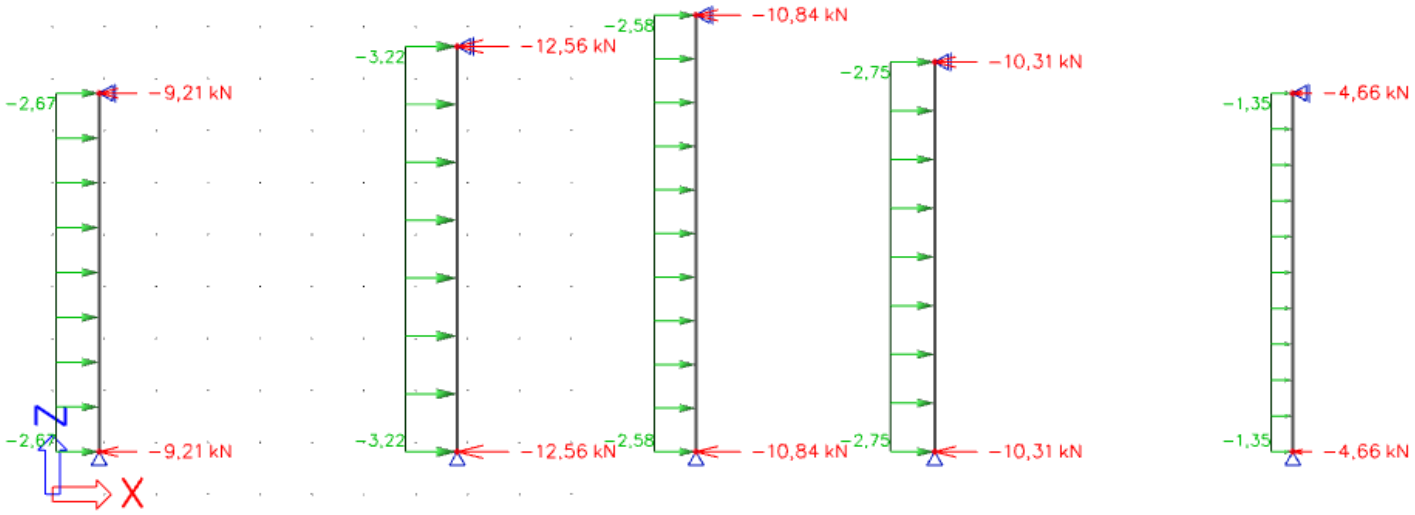


Slika 4.4.5. Dijagram momenata M_z za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,5W

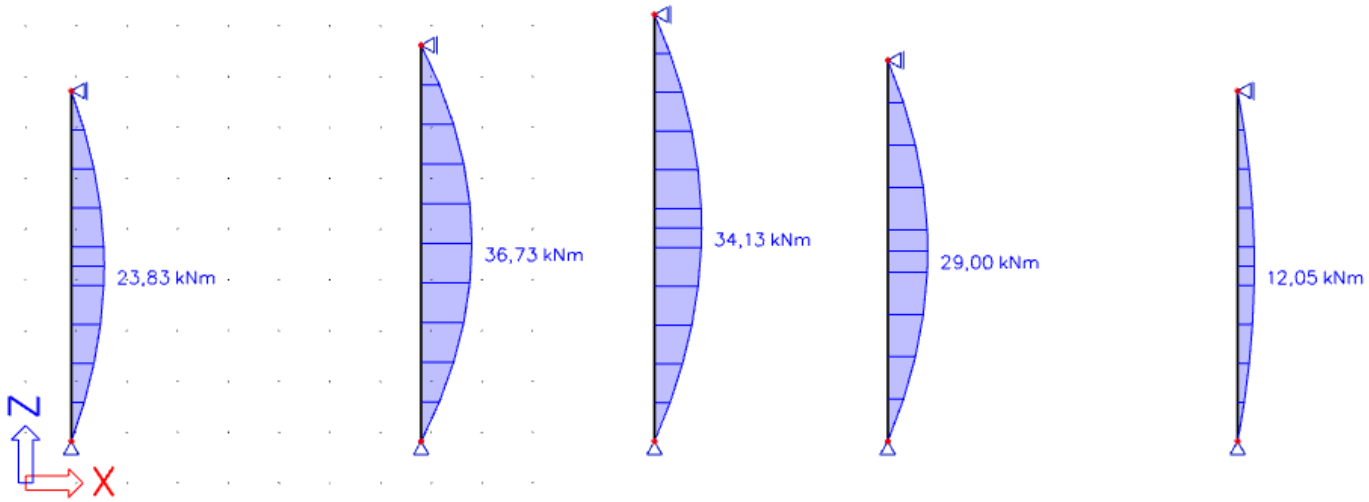


Slika 4.4.6. Dijagram poprečnih sila V_z za kritičnu kombinaciju 1,35G+1,5W

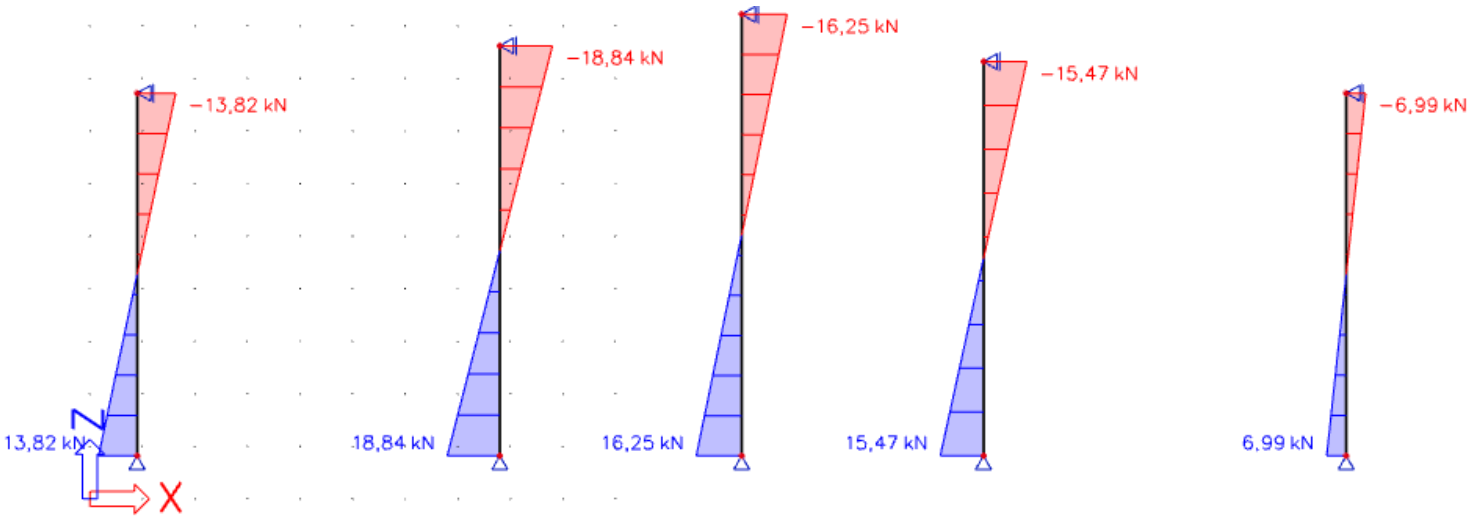
4.5 Zabatni stupovi



Slika 4.5.1 Dijagram reakcija uslijed opterećenja vjetrom

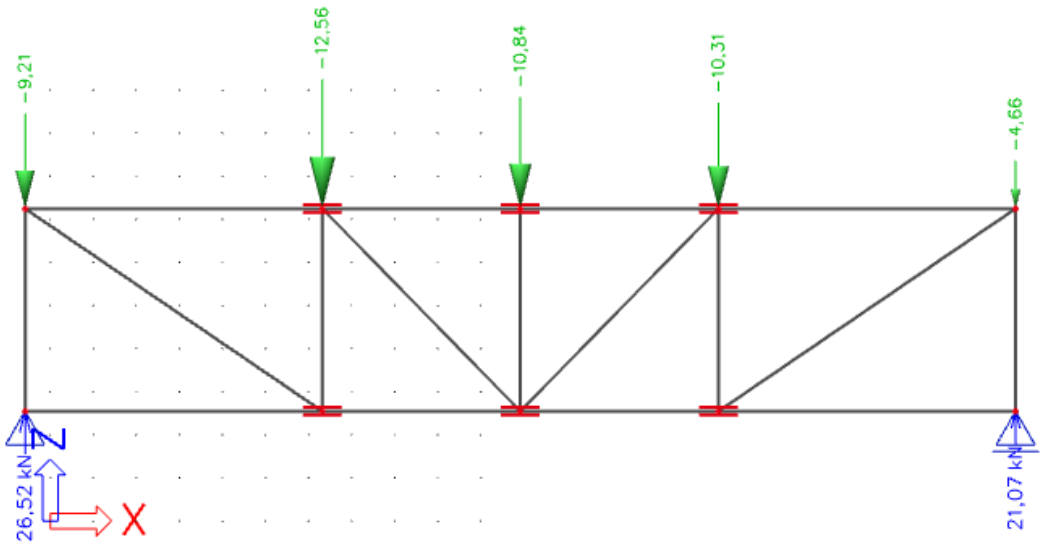


Slika 4.5.2. Dijagram momenata M_y za kritičnu kombinaciju (1,35G+1,5W)

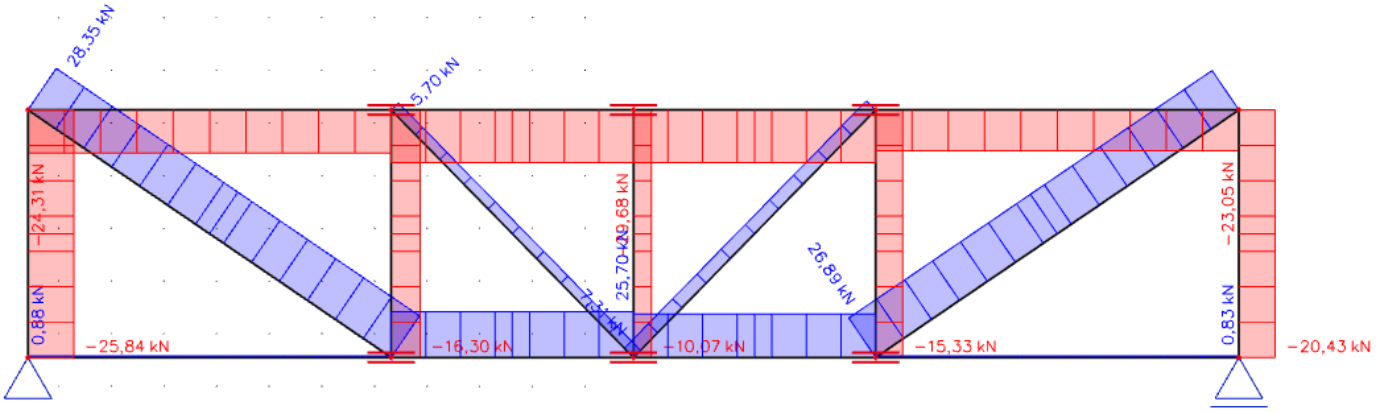


Slika 4.5.3. Dijagram poprečnih sila V_y za kritičnu kombinaciju (1,35G+1,5W)

4.6 Sustav krovnih spregova

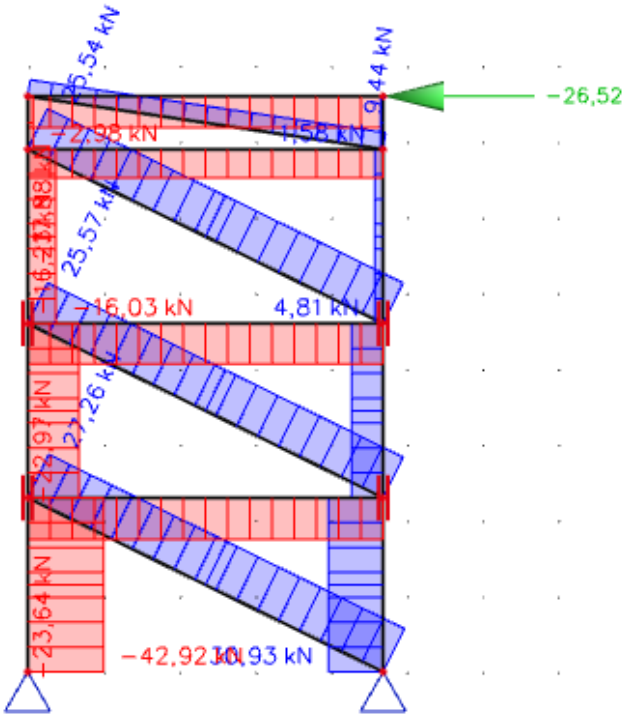


Slika 4.6.1. Reakcije u ležajevima krovnih spregova



Slika 4.6.2. Dijagram uzdužnih sila

4.7 Sustav bočnih spregova



Slika 4.7.1. Dijagram uzdužnih sila

5 DIMENZIONIRANJE

5.1 Stup

Budući da se uslijed kritične kombinacije javlja maksimalni moment i poprečna sila na jednom stupu, a maksimalna uzdužna sila na drugom, proračun radimo za oba slučaja. Također, uslijed jedne kombinacije se javlja maksimalni moment, dok se uslijed druge kombinacije javlja maksimalna tlačna sila pa provodimo proračun i za taj slučaj.

POPREČNI PRESJEK

HEA 260			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	86,8
visina presjeka **h** (mm)	250	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	10500
širina pojasnice **b** (mm)	260	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	3670
debljina pojasnice $\mathbf{t_f}$ (mm)	13	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	920,83
debljina hrpta $\mathbf{t_w}$ (mm)	8	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	429,17
radijus **r** (mm)	24	konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	516350
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	52,4

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

1. slučaj:

Djelovanja:

$M_{y,Ed} = 66{,}47\ kNm$
$V_{z,Ed} = 18{,}87\ kN$
$N_{Ed} = 38{,}39\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 250 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 176\ mm$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{176}{8} = 22$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{18{,}87}{2 \cdot 0{,}8 \cdot \frac{23{,}5}{1{,}0}} = 1{,}02\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{17{,}6}\left(\frac{17{,}6}{2} + 1{,}02\right) = 0{,}56 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0{,}56 - 1} = 63{,}32$$

$22 < 63{,}32 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{260 - 8 - 2 \cdot 24}{2} = 102\ mm$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{102}{13} = 7{,}84$$

$7{,}84 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 7{,}29 \rightarrow$ **Pojasnica je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 2039{,}8\ kN$$

$N_{c,Rd} = 2039{,}08\ kN > N_{Ed} = 38{,}39kN$

- Izloženog savijanju:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 21639{,}51\ kNcm = 216{,}4\ kNm$$

$M_{c,Rd} = 216{,}4\ kNm > M_{y,Ed} = 66{,}47\ kNm$

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}1}{1{,}2} = 60$ →Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

$A_{v,z} = 86{,}8 - 2 \cdot 26 \cdot 1{,}3 + (0{,}8 + 2 \cdot 2{,}4) \cdot 1{,}3 = 26{,}48\ cm^2 > 1{,}2 \cdot 22{,}4 \cdot 0{,}8 = 21{,}50$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26{,}48 \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 359{,}27\ kN$$

$V_{pl,Rd} = 359{,}27\ kN > V_{z,Ed} = 18{,}87\ kN$

- Interakcija M-V-N:

$V_{z,Ed} < 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 359{,}27 = 179{,}64\ kN$

$18{,}87\ kN < 179{,}64\ kN$ → Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

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

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

2) $N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$N_{Ed} = 38{,}39\ kN \leq 0{,}25 \cdot 2039{,}8 = 509{,}95\ kN$

$$N_{Ed} = 38{,}39\ kN \leq \frac{0{,}5 \cdot 22{,}4 \cdot 0{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 210{,}56\ kN$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje.

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

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

Os y-y:

$L_{cr,y} = 6{,}9 * 2 = 13{,}8\ m$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1380^2} = 1142{,}75\ kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{1142{,}75}} = 1{,}34$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0{,}96 < 1{,}2$$

$t_f < 100\ mm$

Za os y-y: krivulja izvijanja b→ $\alpha = 0{,}34$

Za os z-z: krivulja izvijanja c→ $\alpha = 0{,}49$

$$\Phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(1{,}34 - 0{,}2) + 1{,}34^2] = 1{,}59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1{,}59 + \sqrt{1{,}59^2 - 1{,}34^2}} = 0{,}41\ \leq 1{,}0$$

Os z-z:

$L_{cr,z} = 2{,}3\ m$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{230^2} = 14379{,}02\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{14379{,}02}} = 0{,}38$$

$$\phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}49(0{,}38 - 0{,}2) + 0{,}38^2] = 0{,}62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}62 + \sqrt{0{,}62^2 - 0{,}38^2}} = 0{,}91 \ \leq 1{,}0$$

$\chi_y = 0{,}41$
$\chi_z = 0{,}91$
} Mjerodavan manji

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}41 \cdot 86{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 836{,}32\ \mathrm{kN}$$

$\mathrm{N_{b,Rd}} = 836{,}32\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 37{,}67\ \mathrm{kN}$

- Savijanje:

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

L=2,3m= 230 cm

$$\mathrm{z_g} = \frac{\mathrm{h}}{2} = \frac{250}{2} = 125\ \mathrm{mm} = 12{,}5\ \mathrm{cm}$$

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

ψ=0,35 } $\mathrm{k} = 1{,}0$ $\quad \mathrm{C_1} = 1{,}44$ (dobiveno interpolacijom)
$\mathrm{k_w} = 1{,}0$ $\quad \mathrm{C_2} = 0$

$$M_{cr} = 1{,}44 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1{,}0 \cdot 230)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1{,}0}{1{,}0}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1{,}0 \cdot 230)^2 \cdot 8077 \cdot 52{,}4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}} + 0 - 0\right]$$
$$= 270073\ kNcm = 2700{,}73\ kNm$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{270073}} = 0{,}28 < 0{,}4 \rightarrow$Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0{,}96 < 2$$

Krivulja izvijanja a$\rightarrow \alpha_{LT} = 0{,}21$

$$\phi_{LT} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(0{,}28 - 0{,}2) + 0{,}28^2] = 0{,}55$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}{}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0{,}55 + \sqrt{0{,}55^2 - 0{,}28}} = 0{,}98$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0{,}98 \cdot \frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 21237{,}44\ kNcm = 212{,}37\ kNm$$

$$M_{b,Rd} = 212{,}37 > M_{y,Ed} = 66{,}47$$

$$\eta = \frac{66{,}47}{212{,}37} = 0{,}313 = 31{,}3\ \%$$

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 31,3%.

- Interakcija M-N:

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

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

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

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

$\lambda_z = 0{,}38$

$\lambda_y = 1{,}34$

$\Psi = 0$

$0{,}6 + 0{,}4\Psi \geq 0{,}4 \rightarrow \quad C_{my} = 0{,}6$

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

$$k_{yy} = 0{,}6 \cdot \left[1 + (1{,}34 - 0{,}2) \cdot \frac{38{,}39}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}}\right] = 0{,}63$$

$$0{,}63 > 0{,}6 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{38{,}39}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}}\right] = 0{,}62 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0{,}62}$$

$k_{zy} = 0{,}6 \cdot 0{,}62 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0{,}37}$

$$k_{zz} = 0{,}6 \cdot \left[1 + (2 \cdot 0{,}38 - 0{,}6) \cdot \frac{38{,}39}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1}}\right] = 0{,}60$$

$$0{,}60 < 0{,}6 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{38{,}39}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1}}\right] = 0{,}62 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 0{,}60}$$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot 0{,}60 \rightarrow \mathbf{k_{yz} = 0{,}36}$

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

$$\frac{38{,}39}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}} + 0{,}62 \cdot \frac{66{,}47}{0{,}98 \cdot 216{,}4} = 0{,}24 \leq 1{,}0$$

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

$$\frac{38,39}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,36 \cdot \frac{66,47}{0,98 \cdot \frac{216,4}{1,0}} = 0,13 \leq 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 23 %.

2. Slučaj:

Djelovanja:

$M_{y,Ed} = 54,50\ kNm$
$V_{z,Ed} = 8,23\ kN$
$N_{Ed} = 61,62\ kN$ (tlak)

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86,8 \cdot 23,5}{1,0} = 2039,8\ kN$$

$$N_{c,Rd} = 2039,08\ kN > N_{Ed} = 61,62kN$$

- Izloženog savijanju:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920,83 \cdot 23,5}{1,0} = 21639,51\ kNcm = 216,4\ kNm$$

$$M_{c,Rd} = 216,4\ kNm > M_{y,Ed} = 54,5\ kNm$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,1}{1,2} = 60$ →Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

$$A_{v,z} = 86{,}8 - 2 \cdot 26 \cdot 1{,}3 + (0{,}8 + 2 \cdot 2{,}4) \cdot 1{,}3 = 26{,}48\ cm^2 > 1{,}2 \cdot 22{,}4 \cdot 0{,}8 = 21{,}50$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26{,}48\left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 359{,}27\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = 359{,}27\ kN > V_{z,Ed} = 8{,}23\ kN$$

- Interakcija M-V-N

$V_{z,Ed} < 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 359{,}27 = 179{,}64\ kN$

$8{,}23\ kN\ < 179{,}64\ kN \rightarrow$ Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

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

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

2) $N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$N_{Ed} = 61{,}62\ kN \leq 0{,}25 \cdot 2039{,}8 = 509{,}95\ kN$

$$N_{Ed} = 61{,}62\ kN \leq \frac{0{,}5 \cdot 22{,}4 \cdot 0{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 210{,}56\ kN$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila

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

Os y-y:

$L_{cr,y} = 6{,}9 * 2 = 13{,}8\ m$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1380^2} = 1142{,}75\ kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{1142{,}75}} = 1{,}34$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0{,}96 < 1{,}2$$

$$t_f < 100\ mm$$

Za os y-y: krivulja izvijanja b→ $\alpha = 0{,}34$

Za os z-z: krivulja izvijanja c→ $\alpha = 0{,}49$

$$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(1{,}34 - 0{,}2) + 1{,}34^2] = 1{,}59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1{,}59 + \sqrt{1{,}59^2 - 1{,}34^2}} = 0{,}41 \ \leq 1{,}0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 2{,}3\ m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{230^2} = 14379{,}02\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{14379{,}02}} = 0{,}38$$

$$\phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}49(0{,}38 - 0{,}2) + 0{,}38^2] = 0{,}62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}62 + \sqrt{0{,}62^2 - 0{,}38^2}} = 0{,}91 \ \leq 1{,}0$$

$\chi_y = 0{,}41$
$\chi_z = 0{,}91$
} Mjerodavan manji

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0{,}41 \cdot 86{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 836{,}32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 836{,}32 \text{ kN} > N_{ed} = 62{,}62 \text{ kN}$$

- Savijanje:

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

L=2,3m=230 cm

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm} = 12{,}5 \text{ cm}$$

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

ψ=0,65 } $k = 1{,}0$ $\quad C_1 = 1{,}21$ (dobiveno interpolacijom)
$k_w = 1{,}0$ $\quad C_2 = 0$

$$M_{cr} = 1{,}21 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1{,}0 \cdot 230)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1{,}0}{1{,}0}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1{,}0 \cdot 230)^2 \cdot 8077 \cdot 52{,}4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}} + 0 - 0 \right]$$
$$= 226936{,}3 \; kNcm = 2269{,}36 \; kNm$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{226936{,}3}} = 0{,}31 < 0{,}4 \rightarrow$Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0{,}96 < 2$$

Krivulja izvijanja a→ $\alpha_{LT} = 0{,}21$

$$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}^{\,2}\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(0{,}31 - 0{,}2) + 0{,}31^2] = 0{,}56$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^{\,2} - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0{,}56 + \sqrt{0{,}55^2 - 0{,}31^2}} = 0{,}98$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0{,}98 \cdot \frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 21107{,}8\ kNcm = 211{,}08\ kNm$$

$$M_{b,Rd} = 211{,}08 > M_{y,Ed} = 54{,}5$$

$$\eta = \frac{54{,}5}{211{,}08} = 0{,}3149 = 31{,}5\ \%$$

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 31,5 %.

- Interakcija M-N:

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

$$k_{zy} = 0{,}6 \cdot k_{yy}$$

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

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

$\lambda_z = 0{,}38$

$\lambda_y = 1{,}34$

$\Psi = 0$

$0{,}6 + 0{,}4\Psi \geq 0{,}4 \rightarrow$ $C_{my} = 0{,}6$

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

$$k_{yy} = 0{,}6 \cdot \left[1 + (1{,}34 - 0{,}2) \cdot \frac{61{,}62}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}}\right] = 0{,}65$$

$$0{,}65 > 0{,}6 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{61{,}62}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}}\right] = 0{,}64 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0{,}64}$$

$$k_{zy} = 0{,}6 \cdot 0{,}64 = 0{,}38 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0{,}38}$$

$$k_{zz} = 0{,}6 \cdot \left[1 + (2 \cdot 0{,}38 - 0{,}6) \cdot \frac{61{,}62}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1}}\right] = 0{,}60$$

$$0{,}60 < 0{,}6 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{61{,}62}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1}}\right] = 0{,}63 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 0{,}60}$$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot 0{,}60 = 0{,}36 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0{,}36}$

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

$$\frac{61{,}62}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}} + 0{,}64 \cdot \frac{54{,}5}{0{,}98 \cdot 216{,}4} = 0{,}24 \leq 1{,}0$$

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

$$\frac{61{,}62}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}} + 0{,}38 \cdot \frac{54{,}5}{0{,}98 \cdot \frac{216{,}4}{1{,}0}} = 0{,}13 \leq 1{,}0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 24 %.

3. Slučaj:

Djelovanja:

$M_{y,Ed} = 55{,}30\ kNm$
$V_{z,Ed} = 8{,}31\ kN$
$N_{Ed} = 119{,}74\ kN$ (tlak)

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 2039{,}8\ kN$$

$N_{c,Rd} = 2039{,}08\ kN > N_{Ed} = 119{,}74\ kN$

- Izloženog savijanju

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 21639{,}51\ kNcm = 216{,}4\ kNm$$

$$M_{c,Rd} = 216{,}4\ kNm > M_{y,Ed} = 55{,}30\ kNm$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{250 - 2 \cdot 13}{8} = 28$$

$28 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}1}{1{,}2} = 60$ →Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

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

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

$$A_{v,z} = 86{,}8 - 2 \cdot 26 \cdot 1{,}3 + (0{,}8 + 2 \cdot 2{,}4) \cdot 1{,}3 = 26{,}48\ cm^2 > 1{,}2 \cdot 22{,}4 \cdot 0{,}8 = 21{,}50$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{26{,}48 \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 359{,}27\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = 359{,}27\ kN > V_{z,Ed} = 8{,}31\ kN$$

- Interakcija M-V-N:

$$V_{z,Ed} < 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 359{,}27 = 179{,}64\ kN$$

$8{,}31\ kN < 179{,}64\ kN$ → Nema redukcije otpornosti na savijanje od poprečne sile

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

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

2) $N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$$N_{Ed} = 119{,}74\ kN \leq 0{,}25 \cdot 2039{,}8 = 509{,}95\ kN$$

$$N_{Ed} = 119{,}74\ kN \leq \frac{0{,}5 \cdot 22{,}4 \cdot 0{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 210{,}56\ kN$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

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

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 6{,}9 * 2 = 13{,}8\ m$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10500}{1380^2} = 1142{,}75\ kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{1142{,}75}} = 1{,}34$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0{,}96 < 1{,}2$$

$$t_f < 100\ mm$$

Za os y-y: krivulja izvijanja b→ $\alpha = 0{,}34$

Za os z-z: krivulja izvijanja c→ $\alpha = 0{,}49$

$$\Phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(1{,}34 - 0{,}2) + 1{,}34^2] = 1{,}59$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1{,}59 + \sqrt{1{,}59^2 - 1{,}34^2}} = 0{,}41\ \leq 1{,}0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 2{,}3\ m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{230^2} = 14379{,}02\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{86{,}8 \cdot 23{,}5}{14379{,}02}} = 0{,}38$$

$$\Phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}49(0{,}38 - 0{,}2) + 0{,}38^2] = 0{,}62$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}62 + \sqrt{0{,}62^2 - 0{,}38^2}} = 0{,}91 \ \leq 1{,}0$$

$\chi_y = 0{,}41$
$\chi_z = 0{,}91$
} Mjerodavan manji

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}41 \cdot 86{,}8 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 836{,}32\ \mathrm{kN}$$

$\mathrm{N_{b,Rd}} = 836{,}32\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 119{,}74\ \mathrm{kN}$

- Savijanje:

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

L=2,3=230 cm

$$\mathrm{z_g} = \frac{\mathrm{h}}{2} = \frac{250}{2} = 125\ \mathrm{mm} = 12{,}5\ \mathrm{cm}$$

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

ψ=0,65 $\quad \mathrm{k} = 1{,}0 \quad \mathrm{C_1} = 1{,}21$ (dobiveno interpolacijom)
$\quad\quad\quad\quad\ \mathrm{k_w} = 1{,}0 \quad \mathrm{C_2} = 0$

$$M_{cr} = 1{,}21 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}{(1{,}0 \cdot 230)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1{,}0}{1{,}0}\right)^2 \cdot \frac{516350}{3670} + \frac{(1{,}0 \cdot 230)^2 \cdot 8077 \cdot 52{,}4}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3670}} + 0 - 0 \right]$$
$$= 226936{,}3\ kNcm = 2269{,}36\ kNm$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{226936{,}6}} = 0{,}31 < 0{,}4 \rightarrow$Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0{,}96 < 2$$

Krivulja izvijanja a→ $\alpha_{LT} = 0{,}21$

$$\phi_{LT} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(0{,}31 - 0{,}2) + 0{,}31^2] = 0{,}56$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}{}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0{,}56 + \sqrt{0{,}56^2 - 0{,}31^2}} = 0{,}98$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0{,}98 \cdot \frac{920{,}83 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 21107{,}8\ kNcm = 211{,}08\ kNm$$

$$M_{b,Rd} = 211{,}08 > M_{y,Ed} = 55{,}3$$

$$\eta = \frac{55{,}3}{211{,}08} = 0{,}3149 = 31{,}49\ \%$$

Profil HEA 260 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti 31,49%.

- Interakcija M-N:

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

$$k_{zy} = 0{,}6 \cdot k_{yy}$$

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

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

$\lambda_z = 0{,}38$

$\lambda_y = 1{,}34$

$\Psi = 0$

$0{,}6 + 0{,}4\Psi \geq 0{,}4 \rightarrow \quad C_{my} = 0{,}6$

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

$$k_{yy} = 0{,}6 \cdot \left[1 + (1{,}34 - 0{,}2) \cdot \frac{119{,}74}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}}\right] = 0{,}70$$

$$0{,}65 > 0{,}6 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{119{,}74}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}}\right] = 0{,}67 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0{,}67}$$

$k_{zy} = 0{,}6 \cdot 0{,}67 = 0{,}38 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0{,}40}$

$$k_{zz} = 0{,}6 \cdot \left[1 + (2 \cdot 0{,}38 - 0{,}6) \cdot \frac{119{,}74}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1}}\right] = 0{,}61$$

$$0{,}61 < 0{,}6 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{119{,}74}{0{,}91 \cdot \frac{2039{,}8}{1}}\right] = 0{,}65 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 0{,}61}$$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot 0{,}61 = 0{,}36 \rightarrow \mathbf{k_{yz} = 0{,}37}$

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

$$\frac{119{,}74}{0{,}41 \cdot \frac{2039{,}8}{1{,}0}} + 0{,}7 \cdot \frac{55{,}3}{0{,}98 \cdot 216{,}4} = 0{,}33 \leq 1{,}0$$

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

$$\frac{119,74}{0,91 \cdot \frac{2039,8}{1,0}} + 0,4 \cdot \frac{55,3}{0,98 \cdot \frac{216,4}{1,0}} = 0,17 \leq 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka po GSN je 33 %.

5.2 Gornji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK

SHS 150/150/6.0			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	34,2
visina presjeka **h** (mm)	150	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	1174
širina pojasnice **b** (mm)	150	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	1174
debljina **t**	6	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	184
radijus **r** (mm)	9	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	184
		konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	37969
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	1828

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$N_{Ed} = 461,85\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$d = h - 3 \cdot t = 150 - 3 \cdot 6 = 132\ mm$

$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 27$

$22 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 803{,}7\ kN$

$N_{c,Rd} = 803{,}7\ kN > N_{Ed} = 461{,}85\ kN$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

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

Os y-y:

$L_{cr,y} = 2{,}3056\ m$

$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{230{,}56^2} = 4577{,}4\ kN$

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{4577{,}4}} = 0{,}42$

Krivulja izvijanja a→ $\alpha = 0{,}34$

$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(0{,}42 - 0{,}2) + 0{,}42^2] = 0{,}63$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}63 + \sqrt{0{,}63^2 - 0{,}42^2}} = 0{,}91 \leq 1{,}0$$

Os z-z:

$$L_{cr,z} = 4{,}611\ m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{461{,}1^2} = 1144{,}45\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{1144{,}45}} = 0{,}84$$

Krivulja izvijanja a→ $\alpha = 0{,}49$

$$\Phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}49(0{,}84 - 0{,}2) + 0{,}84^2] = 1{,}01$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1{,}01 + \sqrt{1{,}01^2 - 0{,}84^2}} = 0{,}64 \leq 1{,}0$$

$\chi_y = 0{,}91$
$\chi_z = 0{,}64$ } Mjerodavan manji

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}64 \cdot 34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 514{,}37\ \mathrm{kN}$$

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = 514{,}37\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 461{,}85\ \mathrm{kN}$$

$$\eta = \frac{461{,}85}{514{,}37} = 0{,}8979 = 89{,}8\ \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 89,8 %.

5.3 Donji pojas rešetke

POPREČNI PRESJEK

SHS 150/150/6.0			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	34,2
visina presjeka **h** (mm)	150	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	1174
širina pojasnice **b** (mm)	150	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	1174
debljina **t**	6	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	184
radijus **r** (mm)	9	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	184
		konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	37969
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	1828

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$N_{Ed} = 459{,}34\ kN$ (vlak)

$N_{Ed} = 1{,}01\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$d = h - 3 \cdot t = 150 - 3 \cdot 6 = 132\ mm$

$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22$

$22 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 803{,}7\ kN$

$N_{c,Rd} = 803{,}7\ kN > N_{Ed} = 1{,}01\ kN$

- Izloženog vlačnoj sili:

$\mathrm{N_{t,Rd}} = \mathrm{N_{pl,Rd}} = \frac{\mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{1} = 803{,}7\ \mathrm{kN}$

$\mathrm{N_{t,Rd}} = 803{,}7\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 459{,}34\ kN$

$\eta = \frac{459{,}34}{803{,}7} = 0{,}5715 = 57{,}15\ \%$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Os y-y:

$L_{cr,y} = 23\ m$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{2300^2} = 46\ kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{46}} = 4{,}18$$

Krivulja izvijanja b→ $\alpha = 0{,}34$

$$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(4{,}18 - 0{,}2) + 4{,}18^2] = 9{,}91$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{9{,}91 + \sqrt{9{,}91^2 - 4{,}18^2}} = 0{,}053 \ \leq 1{,}0$$

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}053 \cdot 34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 42{,}6\ \mathrm{kN}$$

$\mathrm{N_{b,Rd}} = 42{,}6\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 1{,}01\ \mathrm{kN}$

Os z-z:

$L_{cr,z} = 2{,}3\ m$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{230^2} = 4599{,}72\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{4599{,}72}} = 0{,}42$$

Krivulja izvijanja c→ $\alpha = 0{,}49$

$$\phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}49(0{,}42 - 0{,}2) + 0{,}42^2] = 0{,}64$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}64 + \sqrt{0{,}64^2 - 0{,}42^2}} = 0{,}71 \ \leq 1{,}0$$

$\left.\begin{matrix}\chi_y = 0{,}05 \\ \chi_z = 0{,}71\end{matrix}\right\}$ Mjerodavan manji

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0{,}05 \cdot 34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 40{,}2 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 40{,}2 \text{ kN} > N_{ed} = 1{,}01 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{1{,}01}{40{,}2} = 0{,}03 = 3\ \%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 57,15 %.

5.4 Dijagonale

POPREČNI PRESJEK

SHS 90/90/4.0			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	13,6
visina presjeka **h** (mm)	90	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	166
širina pojasnice **b** (mm)	90	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	166
debljina **t**	4	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	43,6
radijus **r** (mm)	6	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	43,6
		konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	1968,3
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	260

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$N_{Ed} = 290{,}23\ kN$ (vlak)

$N_{Ed} = 50{,}37\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$d = h - 3 \cdot t = 90 - 3 \cdot 4 = 78\ mm$

$\frac{d}{t} = \frac{78}{4} = 19{,}5$

$19{,}5 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 319{,}6\ kN$$

$N_{c,Rd} = 319{,}6\ kN > N_{Ed} = 50{,}37\ kN$

- Izloženog vlačnoj sili:

$$\mathrm{N_{t,Rd}} = \mathrm{N_{pl,Rd}} = \frac{\mathrm{A \cdot f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{13{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 319{,}6\ kN$$

$\mathrm{N_{t,Rd}} = 319{,}6\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 290{,}23\ kN$

$$\eta = \frac{290{,}23}{319{,}6} = 0{,}9081 = 90{,}81\ \%$$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila

Os z-z:

$L_{cr,y} = 2{,}662\ m$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 166}{266{,}2^2} = 485{,}52\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{13{,}6 \cdot 23{,}5}{485{,}52}} = 0{,}81$$

Krivulja izvijanja c→ $\alpha = 0{,}49$

$$\phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}49(0{,}81 - 0{,}2) + 0{,}81^2] = 0{,}98$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}98 + \sqrt{0{,}98^2 - 0{,}81^2}} = 0{,}65 \ \leq 1{,}0$$

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}65 \cdot 13{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 207{,}74\ \mathrm{kN}$$

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = 207{,}74\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 50{,}37\ \mathrm{kN}$$

$$\eta = \frac{50{,}37}{207{,}74} = 0{,}2425 = 24{,}25\%$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivosti od 90,81%

5.5 Vertikale

5.5.1 Vanjske vertikale

POPREČNI PRESJEK VANJSKIH VERTIKALA

POPREČNI PRESJEK

SHS 150/150/6.0			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	34,2
visina presjeka **h** (mm)	150	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	1174
širina pojasnice **b** (mm)	150	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	1174
debljina **t**	6	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	184
radijus **r** (mm)	9	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	184
		konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	37969
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	1828

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent $\boldsymbol{\nu}$	0,3
$\boldsymbol{\varepsilon}$	1

Djelovanja:
$N_{Ed} = 116{,}05\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$d = h - 3 \cdot t = 150 - 3 \cdot 6 = 132\ mm$

$\frac{d}{t} = \frac{132}{6} = 22$

$22 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 803{,}7\ kN$

$N_{c,Rd} = 803{,}7\ kN > N_{Ed} = 116{,}05\ kN$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Os y-y

$L_{cr,y} = 0{,}7\ m$

$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1174}{70^2} = 49658{,}21\ kN$

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{34{,}2 \cdot 23{,}5}{49658{,}21}} = 0{,}13$

Krivulja izvijanja b$\rightarrow \alpha = 0{,}34$

$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(0{,}13 - 0{,}2) + 0{,}13^2] = 0{,}5$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}5 + \sqrt{0{,}5^2 - 0{,}13^2}} = 1 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1 \cdot 34{,}2 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 803{,}7 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 803{,}7 \text{ kN} > N_{ed} = 116{,}05 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{116{,}05}{803{,}7} = 0{,}144 = 14{,}4\%$$

Poprečni presjek unutarnjih dijagonala zadovoljava s iskoristivosti od 14,4%

5.5.2 Unutarnje vertikale

POPREČNI PRESJEK UNUTARNJIH VERTIKALA

POPREČNI PRESJEK

SHS 140/140/4.0			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	4,34
visina presjeka **h** (mm)	40	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	9,78
širina pojasnice **b** (mm)	40	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	9,78
debljina **t**	3	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	5,97
radijus **r** (mm)	5	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	5,97
		konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	25,6
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	15,7

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$N_{Ed} = 78{,}92\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$d = h - 3 \cdot t = 60 - 3 \cdot 3 = 51\ mm$

$\frac{d}{t} = \frac{51}{3} = 17$

$17 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4{,}34 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 102\ kN$$

$N_{c,Rd} = 102\ kN > N_{Ed} = 78{,}92\ kN$

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

Os y-y:

$L_{cr,y} = 0{,}86\ m$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9{,}78}{86^2} = 274{,}07\ kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4{,}34 \cdot 23{,}5}{274{,}07}} = 0{,}61$$

Krivulja izvijanja b→ $\alpha = 0{,}34$

$$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(0{,}61 - 0{,}2) + 0{,}61^2] = 0{,}76$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}76 + \sqrt{0{,}76^2 - 0{,}61^2}} = 0{,}82 \ \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{0{,}82 \cdot 4{,}34 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 83{,}63 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 83{,}63 \text{ kN} > N_{ed} = 78{,}92 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{78{,}92}{83{,}63} = 0{,}9437 = 94{,}37\ \%$$

Poprečni presjek vanjskih dijagonala zadovoljava s iskoristivosti od 94,37%

5.6 Zabatni stupovi

POPREČNI PRESJEK

HEA 180			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	45,3
visina presjeka **h** (mm)	171	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	2510
širina pojasnice **b** (mm)	180	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	925
debljina pojasnice $\mathbf{t_f}$ (mm)	10	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	325
debljina hrpta $\mathbf{t_w}$ (mm)	6	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	156,67
radijus **r** (mm)	15	konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	60211
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	14,8

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$M_{y,Ed} = 36{,}73\ kNm$
$V_{z,Ed} = 18{,}84\ kN$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

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

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

$\frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72$

$20{,}17 < 72 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Pojasnica:

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

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

$7{,}2 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow$ **Pojasnica je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog savijanju:

$M_{c,Rd} = M_{El,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{325 \cdot 25{,}3}{1{,}0} = 7637{,}5\ kNcm = 76{,}38\ kNm$

$M_{c,Rd} = 76{,}38\ kNm > M_{y,Ed} = 36{,}73\ kNm$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka:

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

$25{,}17 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1{,}2} = 60$ →Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{El,Rd} = \frac{A_v\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 45{,}3 - 2 \cdot 18 \cdot 1 + (0{,}6 + 2 \cdot 1{,}5) \cdot 1 = 12{,}90\ cm^2 > 1{,}2 \cdot 25{,}17 \cdot 0{,}6 = 18{,}84$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12{,}90\left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 175{,}02\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = 175{,}02\ kN > V_{z,Ed} = 18{,}84\ kN$$

- Interakcija M-V:

$$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 175{,}02 = 87{,}51\ kN$$

$$V_{z,Ed} = 18{,}84\ kN < 0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 87{,}51\ kN$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{y.c.Rd} = 76{,}38\ kNm$$

Nema redukcije otpornosti u interakciji reznih sila.

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,V,Rd}} < 1 = \frac{36{,}73}{76{,}38} = 0{,}4809 < 1$$

Otpornost elementa

- Savijanje:

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

L=7,8 m

$$\mathrm{z_g} = \frac{\mathrm{h}}{2} = \frac{171}{2} = 85{,}5\ \mathrm{mm} = 8{,}5\ \mathrm{cm}$$

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

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

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

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925}{(1{,}0 \cdot 780)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1{,}0}{1{,}0}\right)^2 \cdot \frac{60211}{925} + \frac{(1{,}0 \cdot 780)^2 \cdot 8077 \cdot 14{,}8}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 925} + (0{,}454 \cdot 8{,}55)^2} - 0{,}454 \cdot 8{,}55 \right] = 6234{,}25\ kNcm = 62{,}34\ kNm$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{325 \cdot 25{,}5}{6234{,}25}} = 1{,}107 > 0{,}4 \rightarrow$Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaj

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

Krivulja izvijanja a→ $\alpha_{LT} = 0{,}21$

$\phi_{LT} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(1{,}107 - 0{,}2) + 1{,}107^2] = 1{,}208$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}{}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1{,}208 + \sqrt{1{,}208^2 - 1{,}107^2}} = 0{,}59$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0{,}59 \cdot \frac{325 \cdot 25{,}5}{1{,}0} = 4516{,}33\ kNcm = 45{,}16\ kNm$$

$M_{b,Rd} = 45{,}16 > M_{y,Ed} = 36{,}73$

$\eta = \frac{36{,}73}{45{,}16} = 0{,}81333 = 81{,}33\ \%$

Odabrani profil zadovoljava provjeru s iskoristivosti od 81,33 %.

5.7 Krovna podrožnica

POPREČNI PRESJEK

IPE 220			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	33,4
visina presjeka **h** (mm)	220	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	2772
širina pojasnice **b** (mm)	210	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	205
debljina pojasnice $\mathbf{t_f}$ (mm)	9	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	285
debljina hrpta $\mathbf{t_w}$ (mm)	6	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	58,1
radijus **r** (mm)	12	konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	22700
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	9,07

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$M_{y,Ed} = 13{,}54\ kNm$

$V_{z,Ed} = 11{,}52\ kN$

$M_{z,Ed} = 0{,}78\ kNm$

$V_{y,Ed} = 0{,}66\ kN$

$N_{Ed} = 24{,}31\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

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

$$\frac{d}{t_w} = \frac{158}{6} = 26{,}33$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{24{,}31}{2 \cdot 0{,}6 \cdot \frac{23{,}5}{1{,}0}} = 0{,}86\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{15{,}8}\left(\frac{15{,}8}{2} + 0{,}86\right) = 0{,}55 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0{,}55 - 1} = 68{,}75$$

$26{,}33 < 68{,}75 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{100 - 6 - 2 \cdot 12}{2} = 35\ mm$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35}{9} = 3{,}89$$

$3{,}89 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow$ **Pojasnica je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 669{,}75\ kN$$

$$N_{c,Rd} = 669{,}75\ kN > N_{Ed} = 24{,}31\ kN$$

- Izloženog savijanju:

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 5193{,}5\ kNcm = 51{,}94\ kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 51{,}94\ kNm > M_{y,Ed} = 13{,}54\ kNm$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 1048{,}1\ kNcm = 10{,}48\ kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 10{,}48\ kNm > M_{z,Ed} = 0{,}78\ kNm$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka:

U smjeru osi z-z:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 9}{6} = 30{,}33$$

$30{,}33 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1{,}2} = 60$ →Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 28{,}5 - 2 \cdot 10 \cdot 0{,}9 + (0{,}6 + 2 \cdot 1{,}2) \cdot 0{,}9 = 13{,}2\ cm^2 > 1{,}2 \cdot 18{,}2 \cdot 0{,}6 = 13{,}1$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{13{,}2 \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 179{,}09\ kN$$

$$V_{pl,z,Rd} = 179{,}09\ kN > V_{z,Ed} = 11{,}52\ kN$$

U smjeru osi y-y:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,y} = A - \sum h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,y} = 28{,}5 - 18{,}2 \cdot 0{,}6 = 17{,}58$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{17{,}58 \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 238{,}52\ kN$$

$$V_{pl,y,Rd} = 238{,}52\ kN > V_{y,Ed} = 0{,}66\ kN$$

- Interakcija M-V-N (dvoosno savijanje)

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

$$\alpha = 2;\ \beta = 5 \cdot n\ (\beta \geq 1{,}0)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{24{,}31}{669{,}75} = 0{,}04 < 1 \rightarrow \beta = 1{,}0$$

Savijanje u smjeru osi y-y:

$$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 179{,}09 = 89{,}55\ kN$$

$$V_{z,Ed} = 11{,}52\ kN < 89{,}55\ kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile.

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

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

2) $N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$N_{Ed} = 24{,}31\ kN \leq 0{,}25 \cdot 669{,}75 = 167{,}44\ kN$

$N_{Ed} = 24{,}31\ kN \leq \frac{0{,}5 \cdot 15{,}8 \cdot 0{,}6 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 111{,}39\ kN$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile.

$M_{N,V,y,Rd} = M_{c,y,Rd} = 51{,}94\ kNm$

Savijanje u smjeru osi z-z:

$0{,}5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0{,}5 \cdot 238{,}52\ = 119{,}26\ kN$

$V_{y,Ed} = 0{,}66\ kN < 119{,}26\ kN$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile

$M_{N,V,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 10{,}48\ kNm$

$(\frac{13{,}54}{51{,}94})^2 + (\frac{0{,}78}{10{,}48})^1 = 0{,}14 \leq 1{,}0$

Profil IPE 220 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

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

Os y-y:

$L_{cr,y} = 4{,}7\ m$

$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1943}{470^2} = 1823{,}04\ kN$

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{28{,}5 \cdot 23{,}5}{1823{,}04}} = 0{,}61$

$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 > 1{,}2$

$t_f = 9\ mm \leq 40\ mm$

Krivulja izvijanja oko osi y-y a→ $\alpha = 0{,}21$

Krivulja izvijanja oko osi z-z b→ $\alpha = 0{,}34$

$$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(0{,}61 - 0{,}2) + 0{,}61^2] = 0{,}73$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}73 + \sqrt{0{,}73^2 - 0{,}61^2}} = 0{,}89 \ \leq 1{,}0$$

Os z-z:

$L_{cr,z} = 4{,}7\ m$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{470^2} = 133{,}23\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{28{,}5 \cdot 23{,}5}{133{,}23}} = 2{,}24$$

$$\phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(2{,}24 - 0{,}2) + 2{,}24^2] = 3{,}36$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3{,}36 + \sqrt{3{,}36^2 - 2{,}24^2}} = 0{,}17 \ \leq 1{,}0$$

$\left.\begin{array}{l}\chi_y = 0{,}89 \\ \chi_z = 0{,}17\end{array}\right\}$ Mjerodavan manji

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}17 \cdot 28{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 113{,}86\ \mathrm{kN}$$

$\mathrm{N_{b,Rd}} = 113{,}86\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 24{,}31\ \mathrm{kN}$

- Savijanje:

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

L=4,7 m=470 cm

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm} = 10{,}0 \text{ cm}$$

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

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

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

$$M_{cr} = 1{,}271 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{(1{,}0 \cdot 470)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1{,}0}{1{,}0}\right)^2 \cdot \frac{13000}{142} + \frac{(1{,}0 \cdot 470)^2 \cdot 8077 \cdot 6{,}98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}} + (0{,}454 \cdot 10)^2 - 0{,}454 \cdot 10 \right]$$

$$= 2792{,}37\ kNm = 27{,}92\ kNm$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 23{,}5}{2792{,}37}} = 1{,}36 > 0{,}4$ →Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaja

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2 \leq 2$$

Krivulja izvijanja a→ $\alpha_{LT} = 0{,}21$

$$\Phi_{LT} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(1{,}36 - 0{,}2) + 1{,}36^2] = 1{,}55$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}{}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1{,}55 + \sqrt{1{,}55^2 - 1{,}36^2}} = 0{,}44$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0{,}44 \cdot \frac{221 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 2285{,}14\ kNcm = 22{,}85\ kNm$$

$$M_{b,Rd} = 22{,}85 > M_{y,Ed} = 13{,}54$$

- Interakcija M-N:

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

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

Element je osjetljiv na torzijske deformacije.

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

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

Za $\lambda_z = 2{,}24 > 0{,}4$:

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

Za I presjek:

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

Određivanje C_{mi}:

$$\left.\begin{array}{l} \alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \\ \Psi = 0 \end{array}\right\} \begin{array}{l} C_{my} = 0{,}95 + 0{,}05 \cdot \alpha_h \\ C_{mz} = 0{,}95 + 0{,}05 \cdot \alpha_h \\ C_{mLT} = 0{,}95 + 0{,}05 \cdot \alpha_h \end{array}$$

$\lambda_z = 2{,}24$

$\lambda_y = 0{,}61$

$$k_{yy} = 0{,}95 \cdot \left[1 + (0{,}61 - 0{,}2) \cdot \frac{24{,}31}{0{,}89 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}}\right] = 0{,}97 < 0{,}95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{24{,}31}{0{,}89 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}}\right] = 0{,}98$$

$0{,}96 < 0{,}97 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0{,}96}$

$$k_{zz} = 0{,}95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2{,}24 - 0{,}6) \cdot \frac{24{,}31}{0{,}17 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}}\right] = 1{,}74 < 0{,}95 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{24{,}31}{0{,}17 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}}\right] = 1{,}23$$

$1{,}74 > 1{,}23 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 1{,}23}$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot 1{,}23 = 0{,}74 \rightarrow \mathbf{k_{yz} = 0{,}74}$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0{,}1 \cdot 2{,}24}{(0{,}95 - 0{,}25)} \cdot \frac{24{,}31}{0{,}17 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}}\right] = 0{,}93$$

$$0{,}93 < \left[1 - \frac{0{,}1}{(0{,}95 - 0{,}25)} \cdot \frac{24{,}31}{0{,}17 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}}\right] = 0{,}97 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0{,}97}$$

$$\frac{24{,}31}{0{,}89 \cdot \frac{669{,}75}{1{,}0}} + 0{,}96 \cdot \frac{13{,}54}{0{,}44 \cdot \frac{51{,}94}{1{,}0}} + 0{,}74 \cdot \frac{0{,}78}{\frac{10{,}48}{1{,}0}} = 0{,}6646 \leq 1{,}0$$

$$\frac{24{,}31}{0{,}17 \cdot \frac{699{,}75}{1{,}0}} + 0{,}97 \cdot \frac{13{,}54}{0{,}44 \cdot \frac{51{,}94}{1{,}0}} + 1{,}23 \cdot \frac{0{,}78}{\frac{10{,}48}{1{,}0}} = 0{,}8998 \leq 1{,}0$$

Profil IPE 220 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti η =90%.

5.8 Bočna podrožnica

POPREČNI PRESJEK

IPE 160			
tip presjeka	valjani	površina **A** (cm^2)	20,1
visina presjeka **h** (mm)	160	moment tromosti oko osi y $\mathbf{I_y}$ (cm^4)	869
širina pojasnice **b** (mm)	82	moment tromosti oko osi z $\mathbf{I_z}$ (cm^4)	68,3
debljina pojasnice $\mathbf{t_f}$ (mm)	7	moment otpora $\mathbf{W_{pl,y}}$ (cm^3)	124
debljina hrpta $\mathbf{t_w}$ (mm)	5	moment otpora $\mathbf{W_{pl,z}}$ (cm^3)	26,1
radijus **r** (mm)	9	konstanta krivljenja $\mathbf{I_w}$ (cm^6)	3960
		torzijska konstanta $\mathbf{I_t}$ (cm^4)	3,6

Materijal	S235
Granica popuštanja $\mathbf{f_y}$ (N/mm^2)	235
Modul elastičnosti **E** (N/mm)	210000
Poissonov koeficijent **ν**	0,3
ε	1

Djelovanja:

$M_{y,Ed} = 5{,}43\ kNm$

$V_{z,Ed} = 4{,}62\ kN$

$M_{z,Ed} = 0{,}58\ kNm$

$V_{y,Ed} = 0{,}49\ kN$

$N_{Ed} = 23{,}64\ kN$ (tlak)

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 160 - 2 \cdot 7 - 2 \cdot 9 = 128\ mm$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{128}{5} = 25{,}6$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{23{,}64}{2 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{23{,}5}{1{,}0}} = 1{,}01\ cm$$

$$\alpha = \frac{1}{d}\left(\frac{d}{2} + a\right) = \frac{1}{12{,}8}\left(\frac{12{,}8}{2} + 1{,}01\right) = 0{,}58 > 0{,}5$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0{,}58 - 1} = 60{,}72$$

$25{,}6 < 60{,}72 \rightarrow$ **Hrbat je klase 1**

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{82 - 5 - 2 \cdot 9}{2} = 29{,}5\ mm$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{29{,}5}{7} = 4{,}21$$

$4{,}21 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow$ **Pojasnica je klase 1**

Poprečni presjek je svrstan u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka

- Izloženog tlačnoj sili:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 475{,}35\ kN$$

$$N_{c,Rd} = 475{,}35\ kN > N_{Ed} = 23{,}64\ kN$$

- Izloženog savijanju:

Savijanje oko osi y-y:

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 2914\ kNcm = 29{,}14\ kNm$$

$$M_{c,y,Rd} = 29{,}14\ kNm > M_{y,Ed} = 5{,}43\ kNm$$

Savijanje oko osi z-z:

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 613{,}35\ kNcm = 6{,}13\ kNm$$

$$M_{c,z,Rd} = 6{,}13\ kNm > M_{z,Ed} = 0{,}58\ kNm$$

- Posmična otpornost poprečnog presjeka:

U smjeru osi z-z:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{160 - 2 \cdot 7}{5} = 29{,}2$$

$29{,}2 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1{,}2} = 60$ →Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

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

$$A_{v,z} = 20{,}1 - 2 \cdot 8{,}2 \cdot 0{,}7 + (0{,}5 + 2 \cdot 0{,}9) \cdot 0{,}7 = 10{,}23\ cm^2 < 1{,}2 \cdot 14{,}6 \cdot 0{,}5 = 8{,}76$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{10{,}23 \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 138{,}8\ kN$$

$$V_{pl,z,Rd} = 138{,}8\ kN > V_{z,Ed} = 4{,}62\ kN$$

U smjeru osi y-y:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{v,y} = A - \sum h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,y} = 20{,}1 - 14{,}6 \cdot 0{,}5 = 12{,}8$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{12{,}8 \left(\frac{23{,}5}{\sqrt{3}}\right)}{1{,}0} = 173{,}67\ kN$$

$$V_{pl,y,Rd} = 173{,}67\ kN > V_{y,Ed} = 0{,}49\ kN$$

- Interakcija M-V-N (dvoosno savijanje):

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

$$\alpha = 2;\ \beta = 5 \cdot n\ (\beta \geq 1{,}0)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{23{,}64}{475{,}35} = 0{,}05 < 1 \rightarrow \beta = 1{,}0$$

Savijanje u smjeru osi y-y:

$$0{,}5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0{,}5 \cdot 138{,}8 = 69{,}4\ kN$$

$$V_{z,Ed} = 4{,}62\ kN < 69{,}4\ kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile

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

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

2) $N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$$N_{Ed} = 23{,}64\ kN \leq 0{,}25 \cdot 475{,}35 = 118{,}84\ kN$$

$$N_{Ed} = 23{,}64\ kN \leq \frac{0{,}5 \cdot 12{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 75{,}2\ kN$$

Uvjeti ispunjeni što znači da nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{c,y,Rd} = 29{,}14\ kNm$$

Savijanje u smjeru osi z-z:

$$0{,}5 \cdot V_{pl,y,Rd} = 0{,}5 \cdot 173{,}67\ = 86{,}84\ kN$$

$$V_{y,Ed} = 0{,}49\ kN < 86{,}84\ kN$$

Nema redukcije otpornosti od poprečne sile

Nema redukcije otpornosti na savijanje od uzdužne sile

$$M_{N,V,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 6{,}13\ kNm$$

$$\left(\frac{5{,}43}{29{,}14}\right)^2 + \left(\frac{0{,}58}{6{,}13}\right)^1 = 0{,}13 \leq 1{,}0$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.

Otpornost elementa

- Uzdužna tlačna sila:

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

Os y-y:

$$L_{cr,y} = 4{,}7\ m$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 869}{470^2} = 815{,}35\ kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20{,}1 \cdot 23{,}5}{815{,}35}} = 0{,}76$$

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1{,}95 > 1{,}2$$

$t_f = 5\ mm \leq 40\ mm$

Krivulja izvijanja oko osi y-y a→ $\alpha = 0{,}21$

Krivulja izvijanja oko osi z-z b→ $\alpha = 0{,}34$

$$\Phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(0{,}76 - 0{,}2) + 0{,}76^2] = 0{,}85$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}85 + \sqrt{0{,}85^2 - 0{,}76^2}} = 0{,}81 \ \leq 1{,}0$$

Os z-z:

$L_{cr,z} = 4{,}7\ m$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68{,}3}{470^2} = 64{,}08\ kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{20{,}1 \cdot 23{,}5}{64{,}08}} = 2{,}72$$

$$\Phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0{,}2) + \bar{\lambda}_z{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34(2{,}72 - 0{,}2) + 2{,}72^2] = 4{,}63$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z{}^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4{,}63 + \sqrt{4{,}63^2 - 2{,}72^2}} = 0{,}12 \ \leq 1{,}0$$

$\chi_y = 0{,}81$
$\chi_z = 0{,}12$ } Mjerodavan manji

$$\mathrm{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{f_y}}{\gamma_{\mathrm{M,0}}} = \frac{0{,}12 \cdot 20{,}1 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 56{,}68\ \mathrm{kN}$$

$\mathrm{N_{b,Rd}} = 56{,}68\ \mathrm{kN} > \mathrm{N_{ed}} = 23{,}64\ \mathrm{kN}$

- Savijanje:

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

L=4,7 m=470 cm

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm} = 8{,}0 \text{ cm}$$

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

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

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

$$M_{cr} = 1{,}127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68{,}3}{(1{,}0 \cdot 470)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{1{,}0}{1{,}0}\right)^2 \cdot \frac{3960}{68{,}3} + \frac{(1{,}0 \cdot 470)^2 \cdot 8077 \cdot 3{,}6}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68{,}3} + (0{,}454 \cdot 8)^2} - 0{,}454 \cdot 8 \right] = 1392{,}36\ kNm = 13{,}92\ kNm$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{124 \cdot 23{,}5}{1392{,}36}} = 1{,}45 > 0{,}4$ →Bočno torzijsko izbočavanje ima utjecaj

$$\frac{h}{b} = \frac{160}{82} = 1{,}95 \leq 2$$

Krivulja izvijanja a→ $\alpha_{LT} = 0{,}21$

$$\phi_{LT} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21(1{,}45 - 0{,}2) + 1{,}45^2] = 1{,}68$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}{}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1{,}68 + \sqrt{1{,}68^2 - 1{,}45^2}} = 0{,}4$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,1}} = 0{,}4 \cdot \frac{124 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 1165{,}6\ kNcm = 11{,}66\ kNm$$

$M_{b,Rd} = 11{,}66 > M_{y,Ed} = 5{,}43$

- Interakcija M-N:

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

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

Element je osjetljiv na torzijske deformacije.

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

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

Za $\lambda_z = 2{,}72 > 0{,}4$:

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

Za I presjek:

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

Određivanje C_{mi}:

$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0$
$\Psi = 0$

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

$\lambda_z = 2{,}72$

$\lambda_y = 0{,}76$

$$k_{yy} = 0{,}95 \cdot \left[1 + (0{,}76 - 0{,}2) \cdot \frac{23{,}64}{0{,}81 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}}\right] = 0{,}98 < 0{,}95 \cdot \left[1 + 0{,}8 \cdot \frac{23{,}64}{0{,}81 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}}\right] = 1$$

$0{,}95 < 1 \rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0{,}95}$

$$k_{zz} = 0{,}95 \cdot \left[1 + (2 \cdot 2{,}72 - 0{,}6) \cdot \frac{23{,}64}{0{,}12 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}}\right] = 2{,}85 < 0{,}95 \cdot \left[1 + 1{,}4 \cdot \frac{23{,}64}{0{,}12 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}}\right] = 1{,}5$$

$2{,}85 > 1{,}5 \rightarrow \mathbf{k_{zz} = 1{,}5}$

$$k_{yz} = 0{,}6 \cdot 1{,}5 = 0{,}9 \rightarrow \mathbf{k_{yz} = 0{,}9}$$

$$\mathrm{k_{zy}} = \left[1 - \frac{0{,}1 \cdot 2{,}72}{(0{,}95 - 0{,}25)} \cdot \frac{23{,}64}{0{,}12 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}}\right] = 0{,}84$$

$$0{,}84 < \left[1 - \frac{0{,}1}{(0{,}95 - 0{,}25)} \cdot \frac{23{,}64}{0{,}12 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}}\right] = 0{,}94 \rightarrow \mathbf{k_{zy} = 0{,}94}$$

$$\frac{23{,}64}{0{,}81 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}} + 0{,}95 \cdot \frac{5{,}43}{0{,}4 \cdot \frac{29{,}14}{1{,}0}} + 0{,}9 \cdot \frac{0{,}58}{\frac{6{,}13}{1{,}0}} = 0{,}59 \leq 1{,}0$$

$$\frac{23{,}64}{0{,}12 \cdot \frac{475{,}35}{1{,}0}} + 0{,}94 \cdot \frac{5{,}43}{0{,}4 \cdot \frac{29{,}14}{1{,}0}} + 1{,}5 \cdot \frac{0{,}58}{\frac{6{,}13}{1{,}0}} = 0{,}99 \leq 1{,}0$$

Profil IPE 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini elementa s iskoristivosti od 99%.

5.9 Bočni spreg

Maksimalna vlačna sila: $N = 31{,}88\ kN$

$A = 1{,}54\ cm^2$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1{,}54 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 36{,}19\ kN > N_{Ed} = 31{,}88\ kN$$

Za bočne je spregove odabran profil **RD14.**

Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{31{,}88}{36{,}19} = 0{,}8809 = 88{,}1\ \%$$

Profil RD14, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti od 88,1%.

5.10 Krovni spreg

Maksimalna vlačna sila: $N = 29{,}46\ kN$

$A = 1{,}54\ cm^2$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1{,}54 \cdot 23{,}5}{1{,}0} = 36{,}19\ kN > N_{Ed} = 29{,}46\ kN$$

Za krovne je spregove odabran profil **RD14.**

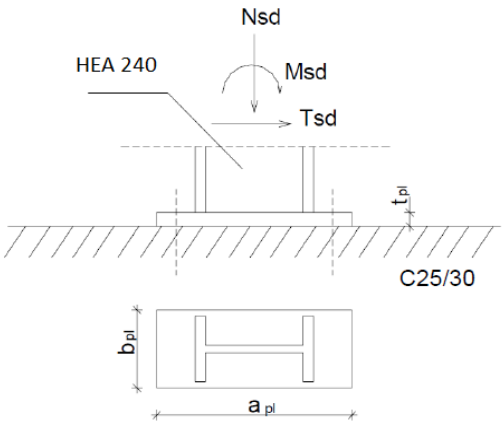
Odabrani puni kružni presjek zadovoljava provjeru iskoristivosti:

$$\eta = \frac{29{,}46}{36{,}19} = 0{,}814 = 81{,}4\ \%$$

Profil RD13, kvalitete čelika S235, zadovoljava GSN sa iskoristivosti od 81,4%.

6 PRORAČUN SPOJEVA

6.1 Upeti spoj stup-temelj



Djelovanja:

M_{Ed} = 67,7 kNm

V_{Ed} = 19,06 kN

N_{Ed} = 42,36 kN (tlak)

Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

POPREČNI PRESJEK:

HEA 260	
tip presjeka	valjani
visina presjeka **h** (mm)	250
širina pojasnice **b** (mm)	260
debljina pojasnice $\mathbf{t_f}$ (mm)	13
debljina hrpta $\mathbf{t_w}$ (mm)	8
površina **A** (cm^2)	86,8

Raspodjela sila po presjeku nosača

Pojasnice:

Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N^{*}{}_{P}{}^{M} = \frac{M_{Ed}}{h'} = \frac{M_{Ed}}{(h - 2 \cdot \frac{t_f}{2})} = \frac{67,7}{0,25 - 0,013} = 285,65\ kN$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_{P}{}^{N} = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Sd} = -\frac{26 \cdot 1,3}{86,8} \cdot 42,36 = -16,5\ kN$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N^*{}_P{}^M + N_P{}^N = 285{,}65 - 16{,}5 = 269{,}15\ \text{kN} = F_{w,Ed}$$

Kontrola varova

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

Dužina vara pojasnice:

$$l \approx 2 \cdot 260 = 520\ \text{mm}$$

Dužina vara hrpta:

$$l \approx 2 \cdot 250 = 500\ \text{mm}$$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

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

Za pretpostavljeni var a= 4 mm

Uzdužna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1{,}25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{520}{100} = 432{,}22\ \text{kN} > F_{w,Ed} = 269{,}15\ \text{kN}$$

Poprečna sila:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1{,}25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{103{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{500}{100} = 415{,}6\ \text{kN} > V_{Ed} = 16{,}06\ \text{kN}$$

Proračun vijaka

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

$$c_{min} = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 4\sqrt{2} = 49{,}66$$

$\rightarrow$ Usvojeno: c=50 mm

Ekscentricitet uzdužne sile:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{67{,}7}{42{,}36} = 1{,}6\ m$$

Ekscentricitet x_1:

$$x_1 = c + h - \frac{t_f}{2} = 50 + 250 - 6{,}5 = 293{,}5\ mm = 0{,}2935\ m$$

Ekscentricitet x_2:

$$x_2 = e - \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} = 1600 - 250/2 + 6{,}5 = 1481{,}5\ mm = 1{,}482\ m$$

$$\mathrm{N_{Ed}} \cdot x_2 = \mathrm{F_{t,Ed}} \cdot x_1 \qquad => \mathrm{F_{t,Ed}} = \mathrm{N_{Ed}} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 42{,}36 \cdot \frac{1{,}482}{0{,}2935} = 206{,}1\ kN$$

Proračun vijaka

Otpornost vijaka na vlak

$$\mathrm{F_{t,Rd}} = \frac{\mathrm{F_{t,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}} = \frac{136{,}4}{1{,}25} = 109{,}1\ \mathrm{kN} \geq \frac{\mathrm{F_{t,Ed}}}{2} = \frac{206{,}1}{2} = 103{,}05\ \mathrm{kN}$$

Otpornost vijaka na posmik

$$\mathrm{F_{v,Rd}} = \frac{\mathrm{F_{v,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{Mb}}} = \frac{90{,}9}{1{,}25} = 72{,}7\ \mathrm{kN} \geq \mathrm{F_{v,Ed}} = \frac{\mathrm{V_{Ed}}}{4} = \frac{19{,}06}{4} = 4{,}77\ \mathrm{kN}$$

Interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak

$$\frac{\mathrm{F_{v,Ed}}}{\mathrm{F_{v,Rd}}} + \frac{\mathrm{F_{t,Ed}}}{1{,}4 \cdot \mathrm{F_{t,Rd}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{4{,}77}{72{,}7} + \frac{103{,}05}{1{,}4 \cdot 109{,}1} \leq 1{,}0 \quad => 0{,}74 \leq 1{,}0$$

Iskoristivost vijaka je 74%, a potrebna su četiri vijka.

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$$\mathrm{a_{pl}^{min}} = \mathrm{h} + 2(\mathrm{c} + \mathrm{e_1}) = 250 + 2 * (50 + 55) = 460\ \mathrm{mm}$$

$$\mathrm{b_{pl}^{min}} = \mathrm{b} + 2\mathrm{a}\sqrt{2} + 20\ \mathrm{mm} = 260 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20\ \mathrm{mm} = 291{,}31\ \mathrm{mm}$$

$$= \mathrm{p_2} + 2\mathrm{e_2} = 75 + 2 \cdot 45 = 165\ \mathrm{mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 470x300 mm.

Proračun debljine ploče - t_{pl}^{min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{19,06}{4} = 4,77\ \text{kN} = F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{151,3}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 4,77\ \text{kN} \quad => t_{pl}^{min} = 0,3941\ \text{mm}$$

Savijanje ploče od odgovora betonske podloge

$$s = \frac{470 - 250 + 13}{2} = 116,65\ \text{mm}$$

$$R = F_{t,Ed} + N_{Ed} = 206,1 + 42,36 = 248,46\ \text{kN}$$

Naprezanje na betonu

$$f_{b,Ed} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{248,46}{\frac{3 \cdot 11,65 \cdot 30,0}{2}} = 0,474\ kN/cm^2 \leq \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,67\ kN/cm^2$$

Savijanje ploče

$$M_{Ed} = F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot f_{b,Ed} \cdot s \cdot b_{pl}}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 4650 \cdot 0,1165 \cdot 0,30 \cdot \frac{0,1165}{2} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 4650 \cdot 0,1165 \cdot 0,30}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,1165$$

$$= 8,414\ \text{kN}$$

Savijanje ploče od vlačnih vijaka

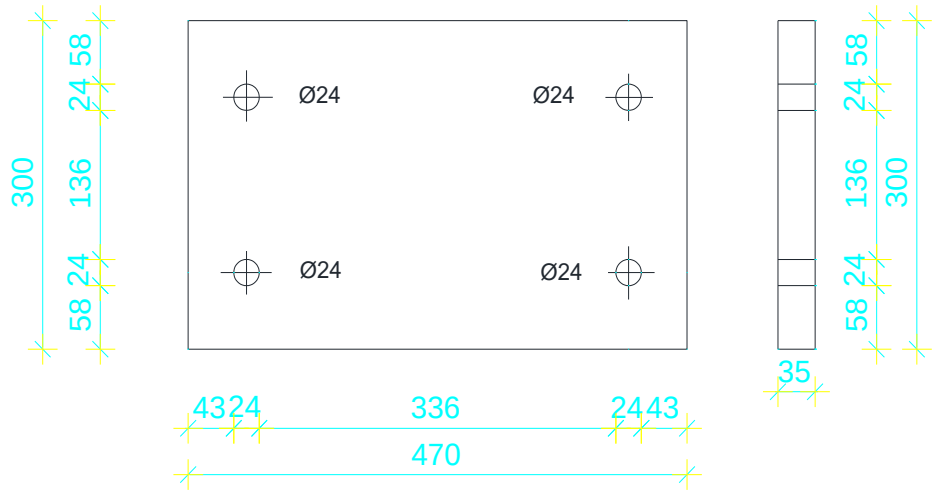
$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot \left(c + \frac{t_f}{2}\right) = 206,1 \cdot (0,050 + 0,0065) = 11,64\ \text{kNm}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{pl} \cdot f_y}{1,1}$$

$$W_{min} = \frac{1{,}1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min\,2}}{6}$$

$$t_{pl}^{min} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 1164 \cdot 6}{30 \cdot 23{,}5}} = 3{,}3 \text{ cm}$$

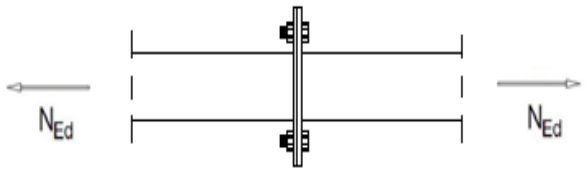
Usvojene dimenzije ploče su **470x300x35** mm.



6.2 Vlačni nastavak rešetke

Djelovanja:

$N_{Ed} = 402{,}07\ kN$



Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

POPREČNI PRESJEK: SHS 150/150/6

Kontrola varova

Određivanje maksimalne debljine vara

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

odabrano $a = 4\ mm$

Otpornost vara

$L_w = O = 4 \cdot 140 = 560\ mm$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M_w}} \cdot \frac{L_w}{100} = \frac{103{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{560}{100} = 465{,}47\ kN > N_{Ed} = 402{,}07\ kN$$

Proračun vijaka

Pretpostavka: vijci M22 k.v. 5.6

n=4 vijka

Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t,rd} = \frac{F_{t,rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{136{,}4}{1{,}25} = 109{,}12\ kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{402{,}07}{4} = 100{,}52\ kN < F_{t,rd} = 109{,}12\ kN$$

$\eta = \frac{100{,}52}{109{,}12} = 0{,}9212$

Iskoristivost vijaka je 92%, a potrebna su četiri vijka.

Proračun ploče

Proračun dimenzija ploče

$c = 2d + a\sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 4\sqrt{2} = 49{,}66\ mm$

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

$b_{pl,min} = b + 2a\sqrt{2} + 20 = 150 + 11{,}31 + 20 = 181{,}31\ mm$

Odabrane dimenzije ploče su 331x331 mm.

Proračun minimalne debljine ploče t_{pl}

e=c·sin(α)= 50·sin(45)= 35,5 mm

b_{pl} =300 mm

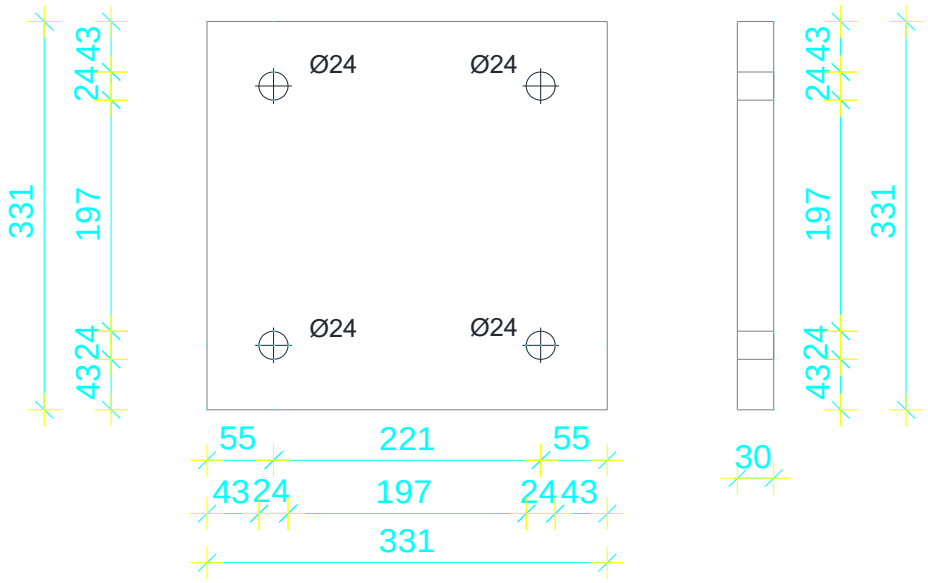
$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 100{,}52 \cdot 0.0355 = 7{,}14\ kNm$

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

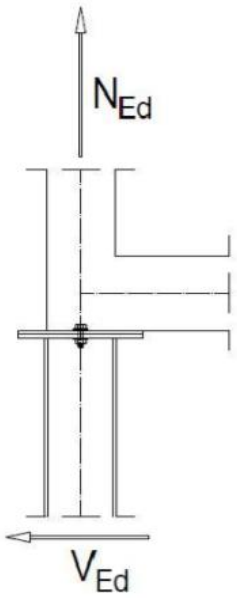
$$\rightarrow t_{pl}^{\ min} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1.1 \cdot 714 \cdot 6}{30 \cdot 23{,}5}} = 2{,}59\ cm$$

Zadovoljava ploča debljine $t_{pl} = 30\ mm$

Odabrane dimenzije ploče su **331x331x30 mm.**



6.3 Spoj stup-rešetka



Djelovanja:

$N_{Ed} = 7{,}06$ kN (tlak-donji pojas)

Osnovni materijal: Fe-360 (S235)

Vijci: k.v. 5.6

POPREČNI PRESJEK

Stup: HEA 260

Donji pojas rešetke: SHS 150/150/6

SHS 150/150/6.0	
tip presjeka	valjani
visina presjeka **h** (mm)	150
širina pojasnice **b** (mm)	150
debljina pojasnice $\mathbf{t_f}$ (mm)	6
površina **A** (cm^2)	34,2

Kontrola varova

Duljina vara hrpta:

$l_1 = 2 * \left(h - 2 * t_f\right) = 2 * (150 - 2 * 6) = 276\, mm$

Duljia vara pojasa:

$l_2 = O = 4 * 150 = 600\, mm$

Maksimalna debljina vara obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača:

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

Za pretpostavljeni var a=4 mm

Poprečna sila

$$\mathrm{F_{w,Rd}} = \frac{\mathrm{F_{w,Rk}}}{1{,}25} \cdot \frac{\mathrm{L}}{100} = \frac{103{,}9}{1{,}25} \cdot \frac{276}{100} = 229{,}41\ \mathrm{kN} > V_{Ed} = 7{,}06\mathrm{kN}$$

Proračun vijaka

Odabrani vijci: M12; kv 5.6

Otpornost vijaka na posmik:

Poprečna sila se raspoređuje na 2 vijka.

$$\mathrm{F_{v,Rd}} = \frac{\mathrm{F_{v,Rk}}}{\gamma_{\mathrm{Mb}}} = \frac{25{,}3}{1{,}25} = 20{,}24\ \mathrm{kN} \geq \mathrm{F_{v,Ed}} = \frac{\mathrm{V_{Ed}}}{2} = \frac{7{,}06}{2} = 3{,}53\ \mathrm{kN}$$

$$\frac{3{,}53}{20{,}24} \leq 1{,}0$$

$0{,}17 \leq 1{,}0$

Iskoristivost vijaka je 17%, a potrebna su dva vijka.

Proračun ploče

Proračun širine i dužine ploče:

$$\mathrm{b_{pl}^{min}} = \mathrm{b} + 2\mathrm{a}\sqrt{2} + 20\ \mathrm{mm} = 150 + 2 \cdot 4\sqrt{2} + 20\ \mathrm{mm} = 181{,}31\ \mathrm{mm}$$

Odabrane dimenzije ploče su 200x200 mm

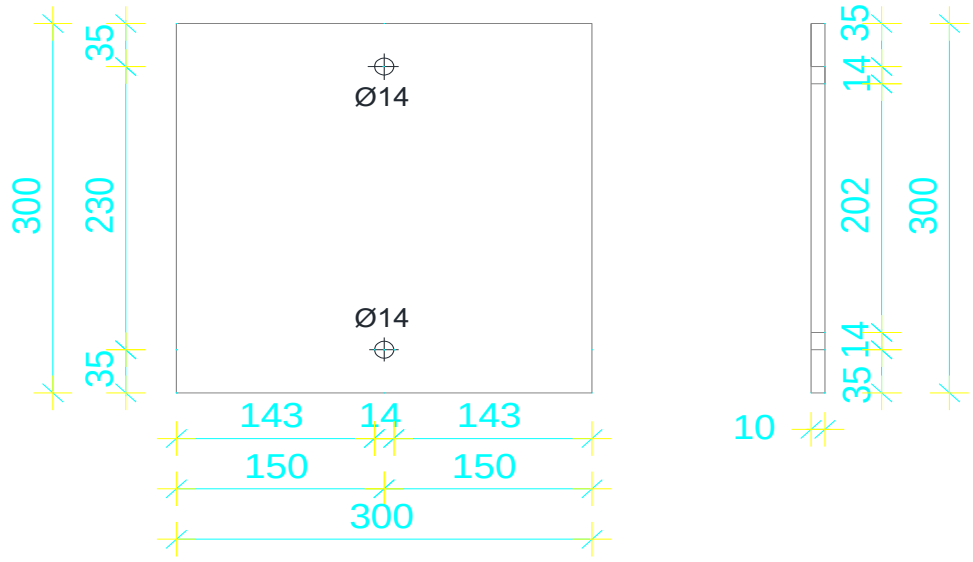
Proračun debljine ploče - t_{pl}^{min}

Pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{v,Sd} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{7,06}{2} = 3,53\ kN = F_{b,Ed} < F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{t^{pl}}{10} \rightarrow t^{pl} > \frac{F_{b,Ed} \cdot \gamma_{Mb} \cdot 10}{F_{b,Rk}}$$

$$t^{pl} > \frac{3,53 * 1,25 * 10}{83,1} = 0,53\ cm$$

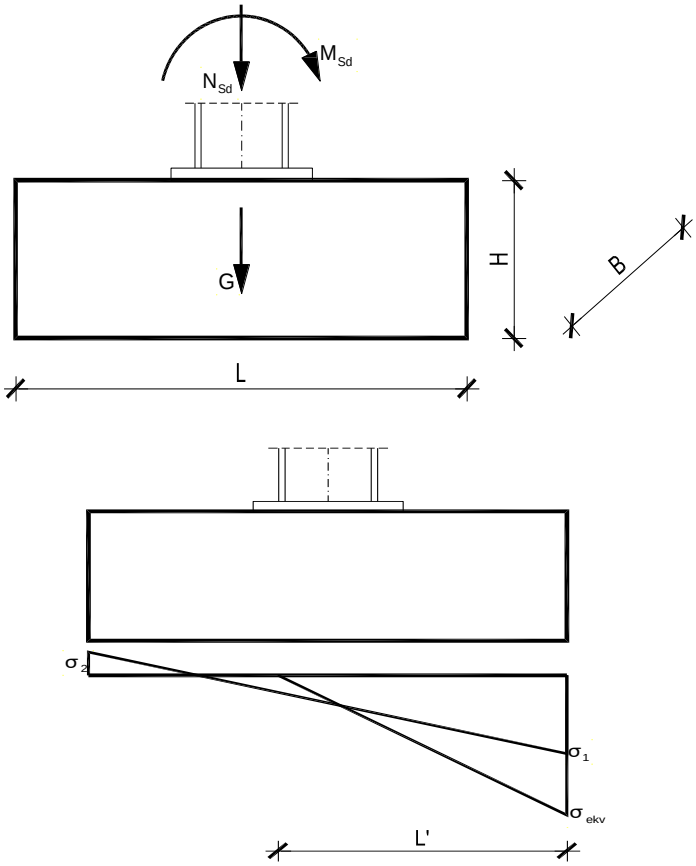
Usvojene dimenzije ploče **300x300x10** mm.



7 PRORAČUN TEMELJA

Odabrane dimenzije temelja:

$L = 2{,}0\ \text{m}$
$B = 2{,}0\ \text{m}$
$H = 1{,}0\ \text{m}$



Materijal:

Temeljno tlo: $\sigma_{tla,\text{lim}} = 300\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Beton C25/30 $f_{ck} = 2{,}5\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Čelik B500B $f_{yk} = 50{,}0\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Djelovanja:

$N_{Sd} = -42{,}36\ \text{kN}$
$V_{Sd} = 19{,}06\ \text{kN}$
$M_{Sd} = 67{,}74\ \text{kNm}$

Površina temeljne stope

$A = L \cdot B = 2{,}0 \cdot 2{,}0 = 4{,}0\ \text{m}^2$

Težina temeljne stope

$G = L \cdot B \cdot H \cdot \gamma_b = 2{,}0 \cdot 2{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 25 = 100{,}0\ \text{kN}$

Moment otpora temeljne stope

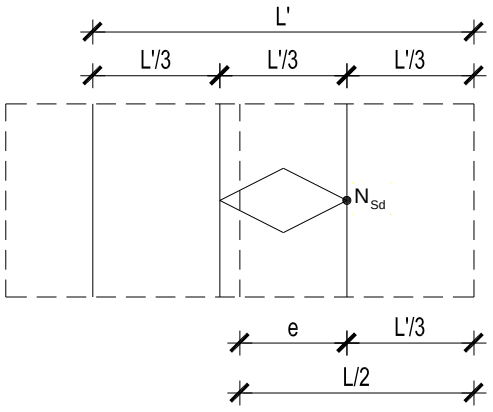
$$W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{2{,}0 \cdot 2{,}0^2}{6} = 1{,}33\,\mathrm{m}^3$$

Naprezanje u tlu ispod temeljne stope na dubini temeljenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Sd} + G}{A} \pm \frac{M_{Sd}}{W} = \frac{42{,}36 + 100{,}0}{4{,}0} \pm \frac{67{,}74}{1{,}33} = 35{,}59 \pm 50{,}93$$

$$\sigma_1 = 86{,}52\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$$

$$\sigma_2 = -15{,}34\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$$

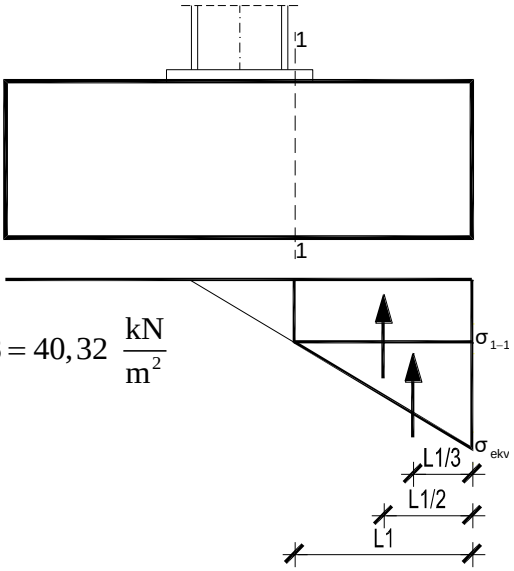


$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd} + G} = \frac{67{,}74}{42{,}36 + 100{,}0} = 0{,}47\ \mathrm{m}$$

$$\frac{L}{2} = e + \frac{L'}{3} \Rightarrow L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{2{,}0}{2} - 0{,}47 \right) = 1{,}6\ \mathrm{m}$$

$$\sigma_{ekv} = \frac{2 \cdot \left(N_{Sd} + G \right)}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot \left(42{,}36 + 100{,}0 \right)}{1{,}6 \cdot 2{,}0} = 88{,}98\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} < \sigma_{tla,\lim} = 300{,}0\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$$

Proračun armature temelja



$$L_1 = \frac{L - h_{stup}}{2} = \frac{2,0 - 0,25}{2} = 0,875 \text{ m}$$

$$\frac{\sigma_{1-1}}{L' - L_1} = \frac{\sigma_{ekv}}{L'} \Rightarrow \sigma_{1-1} = \frac{L' - L_1}{L'} \cdot \sigma_{ekv} = \frac{1,6 - 0,875}{1,6} \cdot 88,98 = 40,32 \ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$M_{Sd}^{1-1} = 1,4 \cdot \left(40,32 \cdot \frac{0,875^2}{2} \cdot 2,0 + \frac{88,98 - 40,32}{2} \cdot 0,875 \cdot 2,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,875 \right) = 77,99 \text{ kNm}$$

Krak unutarnjih sila u betonu

$$z \approx 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ m} = 80 \text{ cm}$$

Potrebna površina armature

$$A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{1-1}}{z \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_S}} = \frac{7799}{80 \cdot \frac{50,0}{1,15}} = 2,24 \text{ cm}^2 < A_{S1,\min} = \frac{0,1}{100} \cdot B \cdot H = 20,0 \text{ cm}^2$$

Komentar: Odabrana je minimalna armatura.

Odabrano: glavna armatura → ø12/10 19 kom = 21,48 cm^2

razdjelna armatura → ø8/25

8 LITERATURA

1.) Prof.dr.sc. Ivica Boko: Napisi za predavanja

2.) FGAG repozitorij: Repozitorij Fakulteta Građevinarstva,arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu

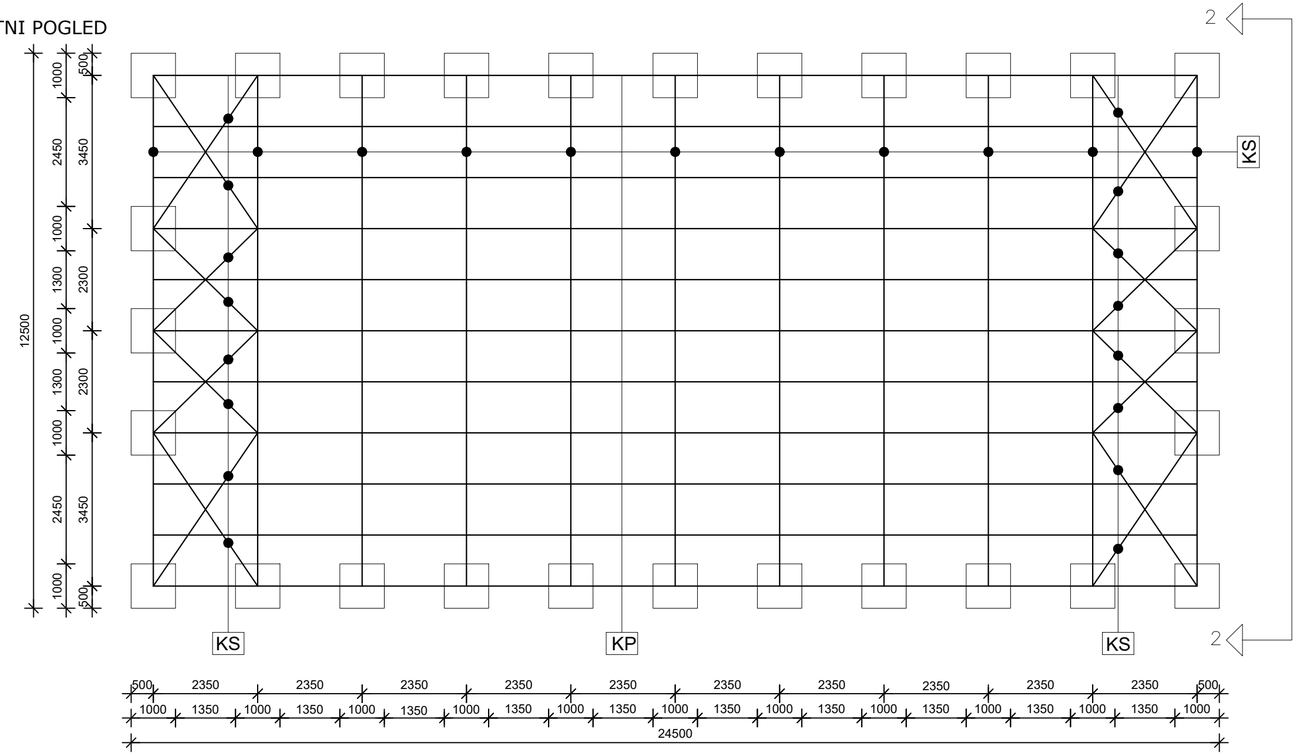
3.) B. Androić; D. Dumović; I. Džeba: Metalne konstrukcije 1, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1994.

9 NACRTI

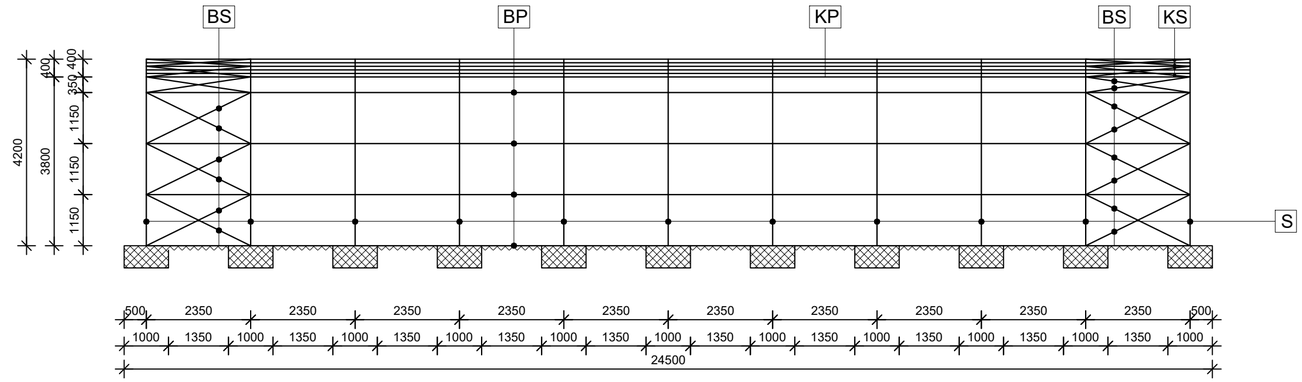
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA

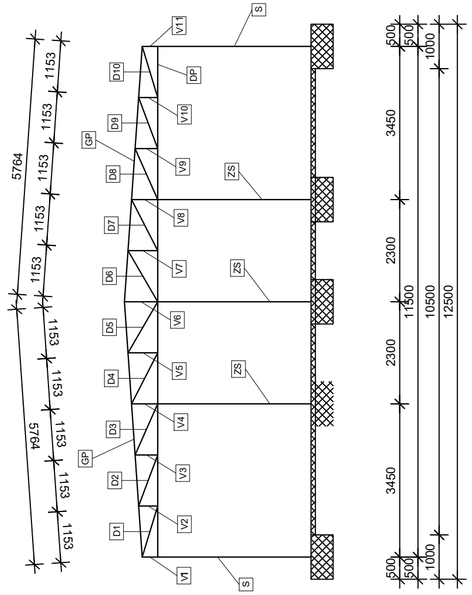
9.1 GENERALNI PLAN POZICIJA
M 1:200

TLOCRTNI POGLED



UZDUŽNI POGLED





PRIKAZ I OPIS POZICIJA		
POZICIJA	PROFIL	NAZIV
STUP (S)	HEA 260	Stup glavne konstrukcije
DONJI POJAS (DP)	SHS 150/150/6.0	Donji pojas krovne rešetke
GORNJI POJAS (GP)	SHS 150/150/6.0	Gornji pojas krovne rešetke
VERTIKALE (V2...V10)	SHS 140/140/4.0	Unutarnje vertikalne ispune krovne rešetke
VERTIKALE (V1,V11)	SHS 150/150/6.0	Vanjske vertikalne ispune krovne rešetke
DIJAGONALE (D)	SHS 90/90/4.0	Dijagonalne ispune krovne rešetke
KROVNA PODR. (KP)	IPE 220	Sekundarna krovna konstrukcija
BOČNA PODR. (BP)	IPE 160	Sekundarna bočna konstrukcija
KROVNI SPREG (KS)	RD 14	Krovna dijagonala vjetrovnog sprega
BOČNI SPREG (BS)	RD 14	Bočna dijagonala vjetrovnog sprega
ZABAT (Z)	HEA 180	Sekundarna konstrukcija na zabatu hale

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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Anđela Čavčić

SADRŽAJ: Generalni plan pozicija

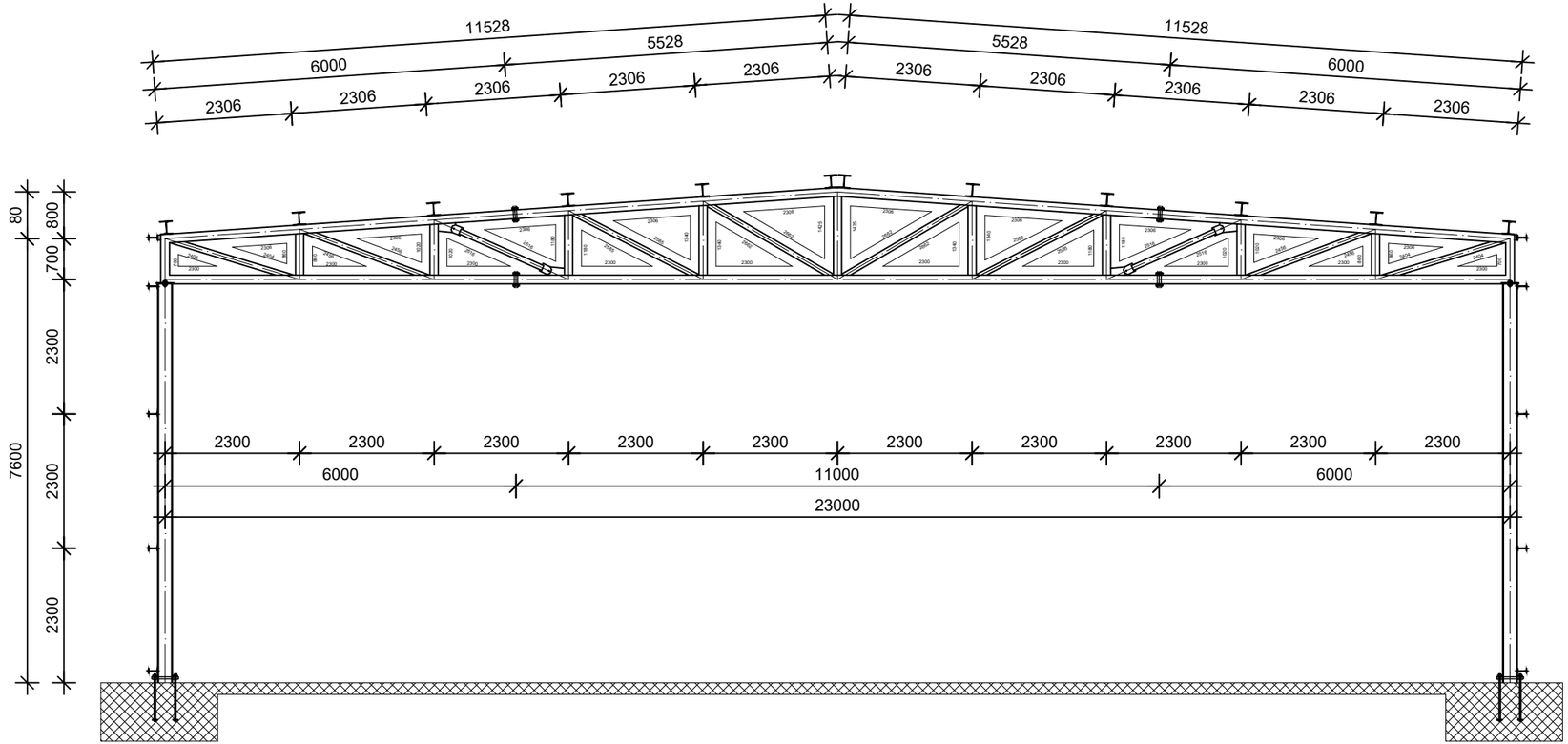
MJERILO: 1:200

DATUM: srpanj 2020.

BROJ PRILOGA: 1

9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR

9.2 PRESJEK KROZ GLAVNI OKVIR
M 1:50



PRIKAZ I OPIS POZICIJA		
POZICIJA	PROFIL	NAZIV
STUP (S)	HEA 260	Stup glavne konstrukcije
GORNJI POJAS 1 (GP1)	SHS 150/150/6.0	Gornji pojas 1 krovne rešetke
GORNJI POJAS 2 (GP2)	SHS 150/150/6.0	Gornji pojas 2 krovne rešetke
DONJI POJAS 1 (DP1)	SHS 150/150/6.0	Donji pojas 1 krovne rešetke
DONJI POJAS 2 (DP2)	SHS 150/150/6.0	Donji pojas 2 krovne rešetke
KROVNA PODR.(KP)	IPE 220	Sekundarna krovna konstrukcija
BOČNA PODR. (BP)	IPE 160	Sekundarna bočna konstrukcija
DIJAGONALE (D)	SHS 90/90/4.0	Dijagonalne ispune krovne rešetke
UNUTARNJE VERT. (V2..V10)	SHS 140/140/4.0	Unutarnje vertikalne ispune krovne rešetke
VANJSKE VERT. (V1,V11)	SHS 150/150/6.0	Vanjske vertikalne ispune krovne rešetke

Napomena:
Materijal konstrukcije za sve elemente je S235.

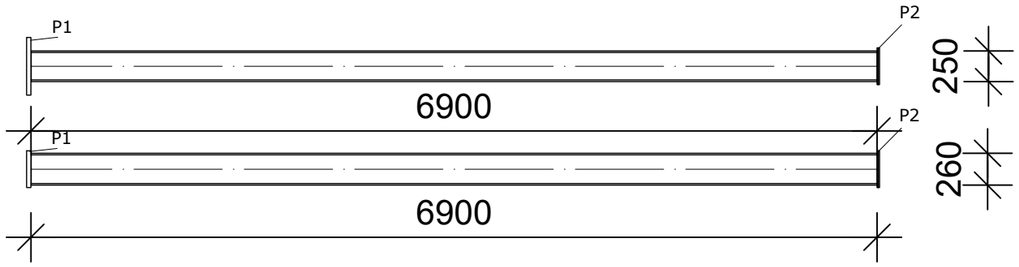
SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Anđela Čavčić
SADRŽAJ	Presjek kroz glavni okvir
MJERILO	1:50
DATUM	srpanj 2020.
BROJ PRILOGA	2

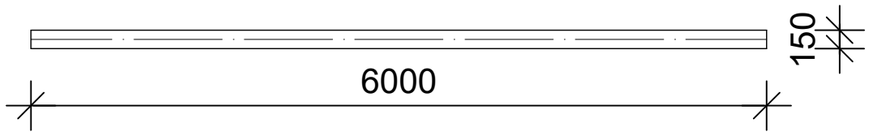
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA

9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
M 1:50

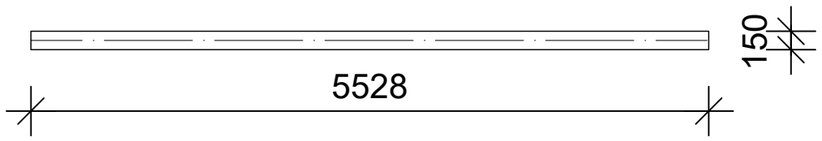
STUP (S) HEA 260, l=6900 mm, 22 kom



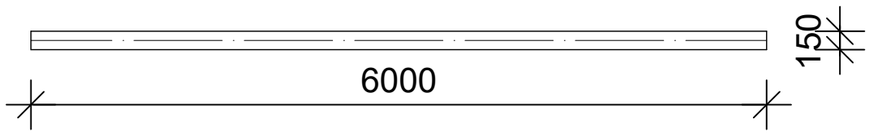
GORNJA POJASNICA (GP1) 150/150/6.0 l=6000 mm, 22 kom



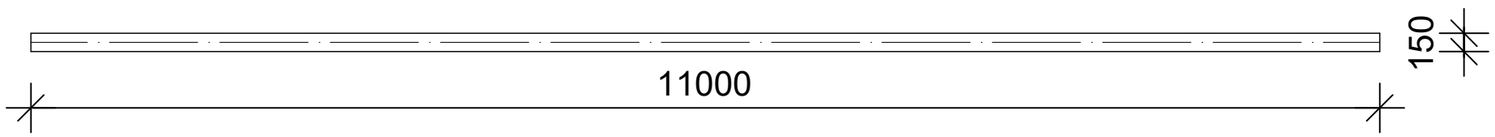
GORNJA POJASNICA (GP2) 150/150/6.0 l=5527.8 mm, 22 kom



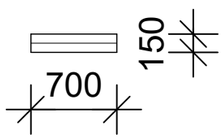
DONJA POJASNICA (DP1) 150/150/6.0 l=6000 mm, 22 kom



DONJA POJASNICA (DP2) 150/150/6.0 l=11000 mm, 11 kom

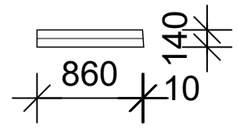


VANJSKE VERTIKALE (V1,V11) 150/150/6, l=700 mm, 22 kom

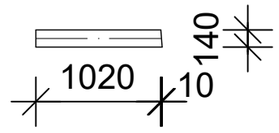


ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, VERTIKALE SHS 140/140/4

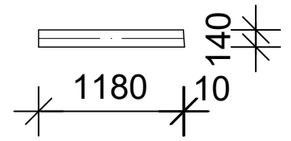
(V2) l=860 mm, 22 kom



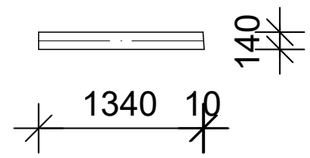
(V3) l=1020 mm, 22 kom



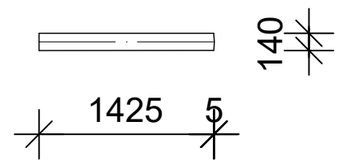
(V4) l=1180mm, 22 kom



(V5) l=1340 mm, 22 kom



(V6) l=1425 mm, 11 kom



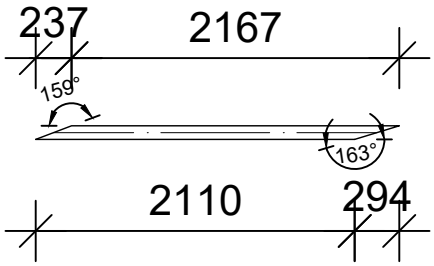
SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

	Osnove metalnih konstrukcija
TEMA	PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE
STUDENT	Anđela Čavčić
SADRŽAJ	Radionički nacrt, glavni nosač
MJERILO	1:50
BROJ PRILOGA	3
DATUM	srpanj 2020.

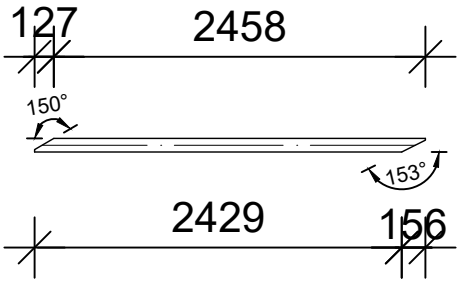
9.3 RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
M 1:50

ELEMENTI ISPUNE REŠETKE, SHS 90/90/4.0

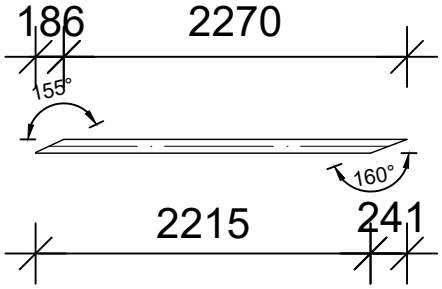
(D1) l=2404 mm, 22 kom



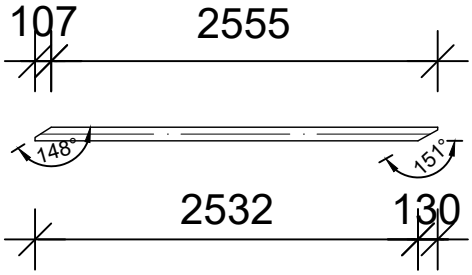
(D4) l=2585 mm, 22 kom



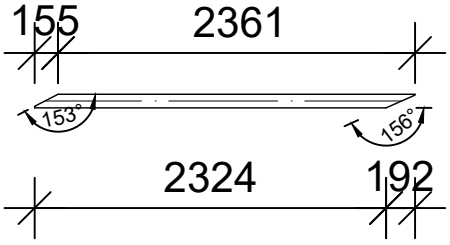
(D2) l=2456 mm, 22 kom



(D5) l=2662 mm, 22 kom



(D3) l=2516 mm, 22 kom



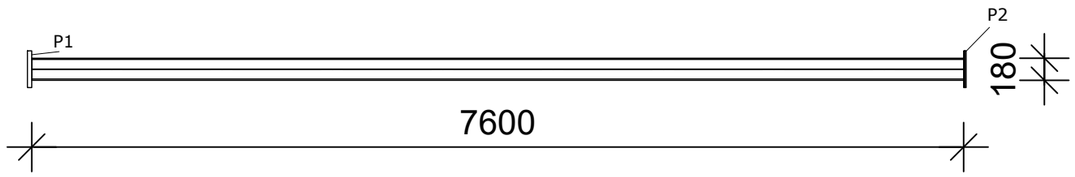
SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Osnove metalnih konstrukcija	
TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
STUDENTI: Anđela Čavčić	
SADRŽAJ: Radionički nacrt, glavni nosač	MJERILO: 1:50
DATUM: srpanj 2020.	BROJ PRILOGA: 4

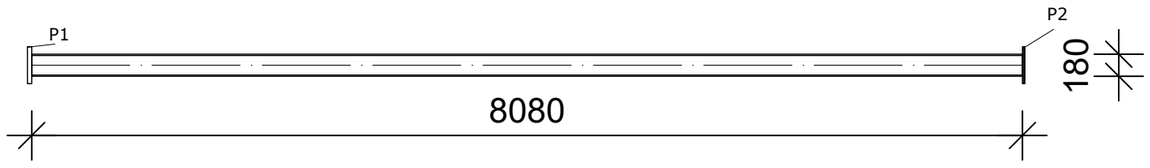
9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA

9.4 RADIONIČKI NACRT SEKUNDARNOG NOSAČA
M 1:50

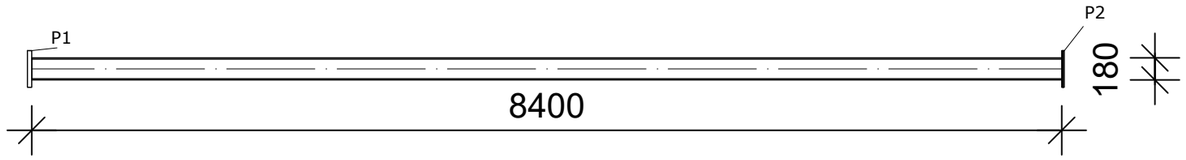
ZABATNI STUP (ZS1) HEA 180, l=8080 mm, 2 kom



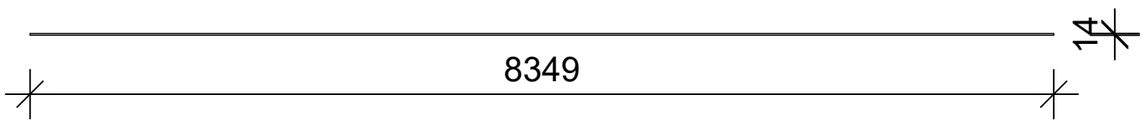
ZABATNI STUP (ZS2) HEA 180, l=8080 mm, 2 kom



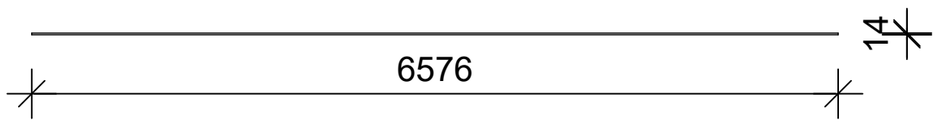
ZABATNI STUP (ZS3) HEA 180, l=8400 mm, 1 kom



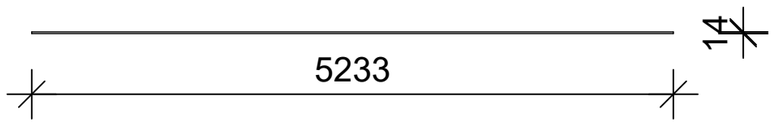
KROVNI SPREG (KS1) RD14, l=8348,6 mm, 8 kom



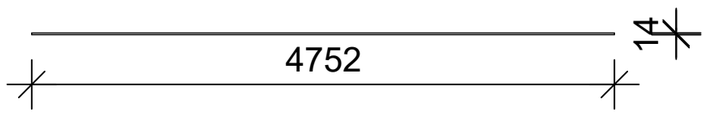
KROVNI SPREG (KS2) RD14, l=6576,4 mm, 8 kom



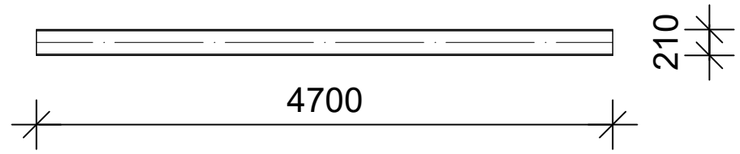
BOČNI SPREG (BS1) RD14, l=5232,6 mm, 12 kom



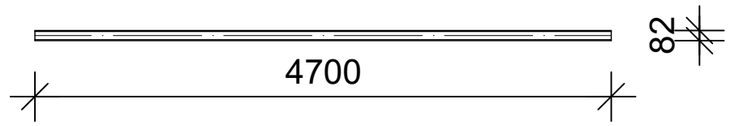
BOČNI SPREG (BS2) RD14, l=4751,8 mm, 4 kom



KROVNA PODROŽNICA (KP) IPE 220, l=4700 mm, 132 kom



BOČNA PODROŽNICA (BP) IPE 160, l=4700 mm, 50 kom



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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Anđela Čavčić

SADRŽAJ: Radionički nacrt, sekundarni nosač

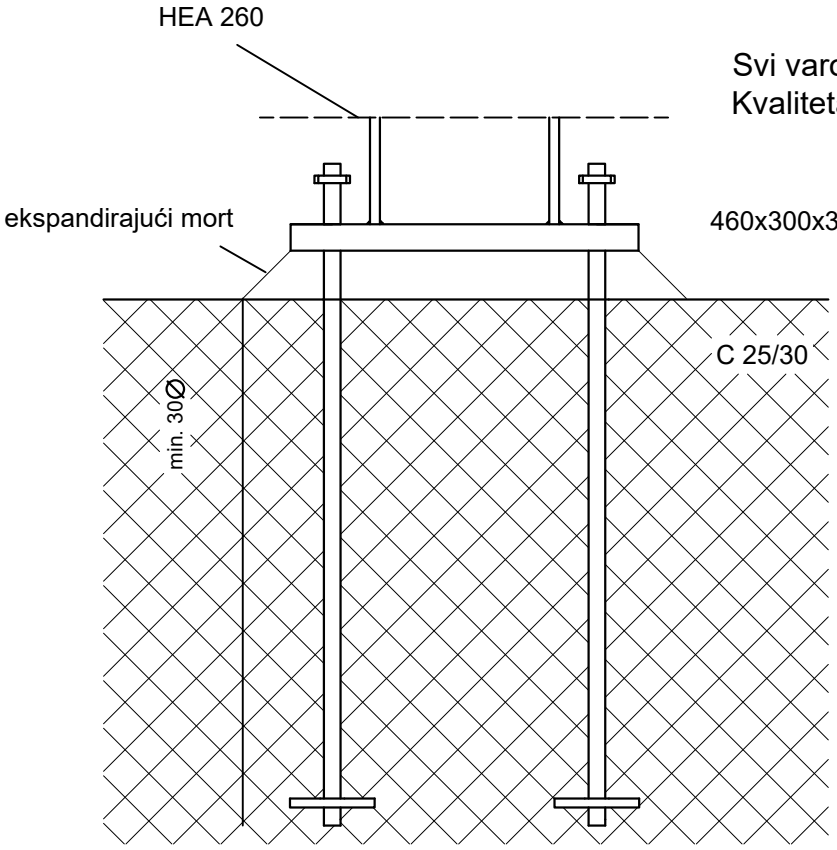
MJERILO: 1:50

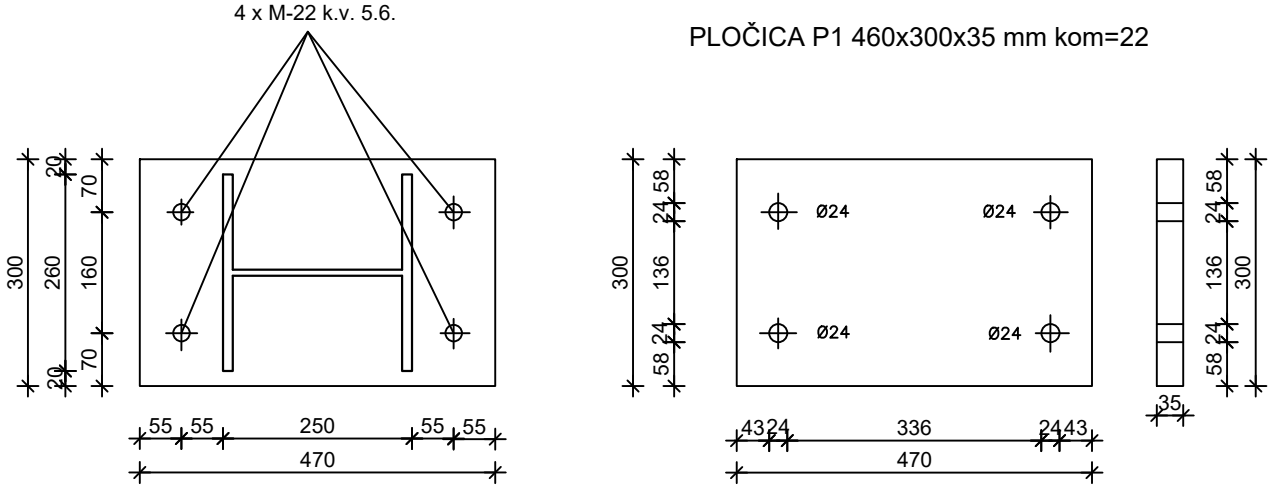
BROJ PRILOGA: 5

DATUM: srpanj 2020.

9.5 DETALJ „D1“ SPOJ STUP-TEMELJ

9.5 DETALJ SPOJA STUP-TEMELJ
M 1:10

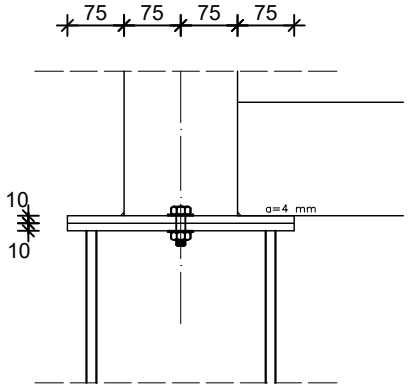


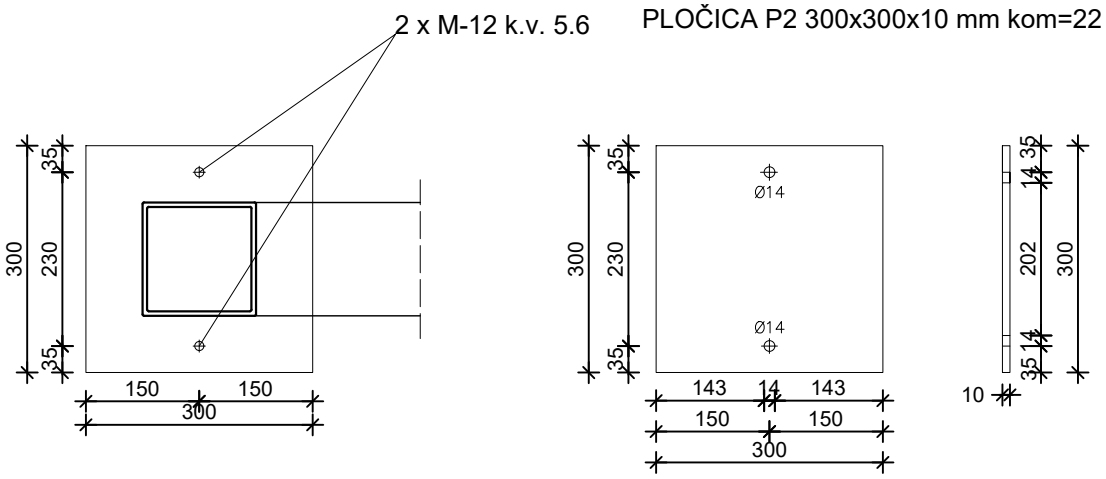


SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Anđela Čavčić	
	SADRŽAJ: Detalj spoja stup-temelj	MJERILO: 1:10
	DATUM: srpanj 2020.	BROJ PRILOGA: 6

9.6 DETALJ „D2“ SPOJ STUP-REŠETKA

9.6 ZGLOBNA VEZA STUP-REŠETKA
M 1:10

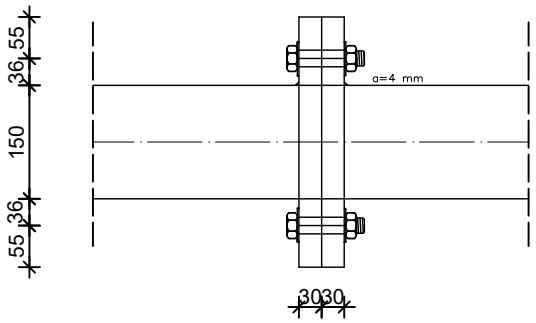




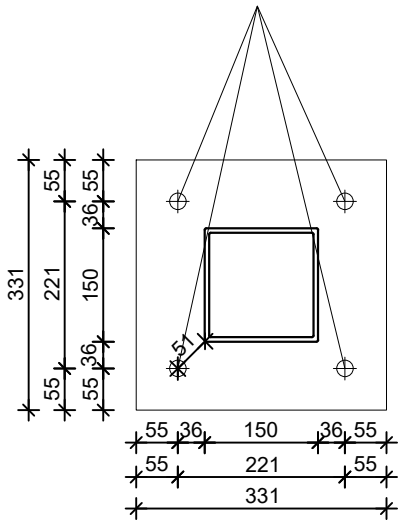
SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Anđela Čavčić	
	SADRŽAJ: Spoj stup-rešetka	MJERILO: 1:10
	DATUM: srpanj 2020.	BROJ PRILOGA: 7

9.7 DETALJ „D3“ VLAČNI NASTAVAK REŠETKE

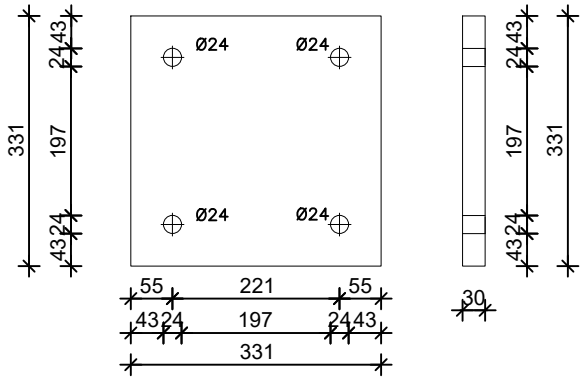
9.7 VLAČNI NASTAVAK REŠETKE
M 1:10



4 x M-22 k.v. 5.6



PLOČICA P3 331x331x30 mm kom=88



SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	Osnove metalnih konstrukcija	
	TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE	
	STUDENT: Anđela Čavčić	
	SADRŽAJ: Vlačni nastavak rešetke	MJERILO: 1:10
	DATUM: srpanj 2020.	BROJ PRILOGA: 8

10 ISKAZ MATERIJALA

TABLICA PREDMJERA MATERIJALA ZA CIJELU KONSTRUKCIJU

POZICIJA	PROFIL	DUŽINA (mm)	KOMADA	JED. TEŽINA (kg/m)	UKUPNA TEŽINA (kg)
Stup (S)	HEA 260	6900	22	68,20	10352,76
Donji pojas (DP1)	150x150x6	6000	22	26,64	3516,48
Donji pojas (DP2)	150x150x6	11000	11	26,64	3194,4
Gornji pojas (GP1)	150x150x6	6000	22	26,64	3484,8
Gornji pojas (GP2)	150x150x6	5527.8	22	26,64	3210,55
Vertikala (V1)	150x150x6	700	22	26,64	406,56
Vertikala (V2)	140x140x4	860	22	16,87	319,18
Vertikala (V3)	140x140x4	1020	22	16,87	378,56
Vertikala (V4)	140x140x4	1180	22	16,87	437,95
Vertikala (V5)	140x140x4	1340	22	16,87	497,33
Vertikala (V6)	140x140x4	1425	11	16,87	264,44
Dijagonala (D1)	90x90x4	2404	22	10,59	560,08
Dijagonala (D2)	90x90x4	2456	22	10,59	572,2
Dijagonala (D3)	90x90x4	2516	22	10,59	586,18
Dijagonala (D4)	90x90x4	2585	22	10,59	602,25
Dijagonala (D5)	90x90x4	2662	22	10,59	620,19
Pločica (P1)	460x300x35	Proračun preko zapremnine	22	7850 (kg/m³)	834,14
Pločica (P2)	300x300x10	Proračun preko zapremnine	22	7850 (kg/m³)	155,43
Pločica (P3)	331x331x30	Proračun preko zapremnine	88	7850 (kg/m³)	2270,54
Krovna podrožnica (P1)	IPE220	4700	132	26,20	16254,48
Bočna podrožnica (P2)	IPE160	4700	50	15,80	3713
Kr. spreg (KS1)	Ø14	8348,6	8	1,21	80,81
Kr. spreg (KS2)	Ø14	6576,4	8	1,21	63,66
Boč. spreg (BS1)	Ø14	5232,6	12	1,21	95,49
Boč. spreg (BS2)	Ø14	4751,8	4	1,21	69,0
Zabatni stup(ZS1)	HEA180	7600	2	35,5	539,6
Zabatni stup(ZS2)	HEA180	8080	2	35,5	573,68
Zabatni stup(ZS3)	HEA180	8400	1	35,5	298,2
		Ukupno (kg)			53951,94
		+2,0% spojna sredstva			1079,04
		UKUPNO (kg)			55030,98
		UKUPNO (kg/m²)			50,91

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

Osnove metalnih konstrukcija

TEMA: PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE HALE

STUDENT: Anđela Čavčić

SADRŽAJ: Predmjer materijala

MJERILO:

BROJ PRILOGA: 9

DATUM: srpanj 2020.