

1. PROJEKTNI ZADATAK

Građevina je predviđena za sportsku namjenu s dva rukometna igrališta. Za njihov smještaj kao i za potrebni servisni prostor oko njih zahtijeva se slobodna površina tlocrtnih dimenzija 30 m x 66 m sa svjetлом visinom od najmanje 8 m.

Kako će građevina služiti za treniranje i rekreaciju, nisu predviđene tribine za gledatelje. Svlačionice i sanitarni čvor nisu predviđeni unutar ove građevine već će biti izvedeni kao montažno-demontažne manje građevine smještene uz samu halu.

Sama hala će zimi biti grijana te je potrebno predvidjeti toplinsku izolaciju tako da bude zadovoljen uvjet $K \leq 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$.

U svrhu korištenja dnevnog svjetla potrebno je uzduž vertikalnih stijena pri vrhu postaviti oblogu koja djelomično propušta dnevno svjetlo. Visina te obloge treba biti 1,5 m mjereno od vijenca prema dolje.

Za potrebe normalnog korištenja dvorane potrebno je osigurati ulaz u zatvorenim stijenama s kliznim vratima dimenzija 5 m x 5 m.

Sportska dvorana nalazi se u Slavoniji na nadmorskoj visini od 0 m. Dopušteno opterećenje tla određuje se na temelju geotehničkog istraživanja.

Svi ostali elementi važni za odnos između klijenta i projektanta u vezi realizacije ovog projekta definirat će se putem Potvrde pristanka (Compliance list).

2. TEHNIČKI OPIS

2.1. Opis konstrukcije

Tlocrte dimenzije građevine, koje se odnose na osi glavne nosive čelične konstrukcije, iznose 30,00m x 66,00m. Visina konstrukcije u ravninama vertikalnih vanjskih stijena iznosi 8,00m iznad kote terena, dok ista visina u sljemenu iznosi 9,00m.

Izvedba krovne i fasadne konstrukcije predviđena je TRIMO SNV d/D = 0,55/0,55mm panelima. Kao svjetlopropusni dio vertikalne obloge predviđeni su elementi od kopilit stakla.

Glavnu nosivu čeličnu konstrukciju čine okvirni sustavi raspona 30,00 m postavljenih na osnom razmaku 6,00 m. Sastoje se od zglobno oslonjenih stupova (HEA profili) i prečke okvira u rešetkastoj izvedbi od toplodogotovljenih cjevnih profila (RHS). U zabatnim ravninama predviđena je posebna zabatna konstrukcija sastavljena od stupova i prečaka (IPE profili), horizontalnih prečaka (RHS profili), te vlačnih dijagonala kao elemenata za poprečnu stabilizaciju.

Podrožnice (IPE profili) nalaze se na razmaku od 1,875 m. U vertikalnim uzdužnim stijenama postavljen je po jedan sekundarni stup na polovici razmaka između glavnih okvira, dok su sekundarni stupovi u zabatnoj stijeni postavljeni na razmaku od 3,75 m. U vertikalnim stijenama predviđena je jedna horizontalna prečka na vrhu stupa, te još jedna postavljena u polovici visine sekundarnih stupova.

U krovnoj ravnini postavljena su dva horizontalna uzdužna veza i dva horizontalna poprečna veza u svrhu globalne stabilizacije krovne ravnine. Nalaze se između prečki okvira i izvedeni su na način da su podrožnice isključene iz prijenosa uzdužnih vlačnih i tlačnih sila. Stabilizacijski vezovi postavljeni su duž vanjskih djelova krovne površine. Vertikalna uzdužna stabilizacija postavljena je između stupova okvira.

2.2. O proračunu konstrukcije

Proračun unutarnjih sila, momenata savijanja i dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije provedeno je u skladu s Eurocode.

Odabir odgovarajućeg pokrova, te obloga stijena proveden je prema uvjetima za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabivosti na temelju tablica nosivosti danih od proizvođača, koje su ovjerene od odgovarajuće institucije.

Svi glavni nosivi elementi čelične konstrukcije razmatrani su kao ravninski sustavi. Analiza konstrukcije provedena je u kompjutorskom programu STAAD.Pro 2007.

2.3. Materijal za izradu konstrukcije

- elementi nosive čelične konstrukcije izrađeni su od čelika S 275
- vijci 8.8
- beton za temelje C25/30
- armatura za temelje Q-503

2.4. Primjenjeni propisi

- Eurocode 1
- Eurocode 2
- Eurocode 3
- Eurocode 8

2.5. Antikorozija zaštita

Elementi čelične konstrukcije hale radionički se štite s jednim temeljnim premazom na prethodno opjeskarenoj podlozi do čistoće Sa 2^{1/2}. Nakon završene montaže potrebno je popraviti sva oštećenja temeljnog radioničkog premaza. Nakon odmašćivanja površine nanosi se drugi temeljni premaz. Debljina temeljnih premaza na organskoj osnovi iznosi 2x30µm. Završna obrada propisana je prikazom mjera zaštite od požara sredstvima s karakteristikom F30.

2.6. Protupožarna zaštita

Zahtjevana vatrootpornost elemenata čelične konstrukcije je F30. Stoga se na podlogu dva temeljna premaza nanosi zaštitno protupožarno sredstvo s karakteristikom vatrootpornosti F30 te kompatibilno sa temeljnom antikorozivnom zaštitom.

3. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

3.1. Uvjeti za izradu čelične konstrukcije

Izrada čelične konstrukcije mora se povjeriti onom izvođaču koji ima odgovarajuće reference već izvedenih sličnih objekata. U tehničkoj dokumentaciji (projektu) predviđena je vrsta i kvaliteta materijala od kojeg treba izraditi konstrukciju. Odstupanja u kvaliteti materijala može odobriti jedino projektant konstrukcije.

Izvođač radova dužan je prije početka radova predočiti nadzornom inženjeru sljedeću važeću dokumentaciju:

- uvjerenja o kvaliteti osnovnog i dodatnog materijala, sredstava za spajanje te sredstava za antikoroziju zaštitu,
- uvjerenje o podobnosti pogona za izvođenje zavarivačkih radova
- uvjerenja zavarivača koji će raditi na izradi konstrukcije za vrstu zavarivačkih radova koja će se primjenjivati, za traženu debljinu, materijal i položaj zavarivanja,
- specifikacija postupaka zavarivanja i odobrenje o primjeni postupaka zavarivanja,
- uvjerenja o ispravnosti strojeva za izvođenje zavarivačkih radova
- plan izvođenja zavarivačkih radova
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje antikorozijske zaštite
- ovlaštenja svih odgovornih osoba u sustavu interne kontrole izvođača,
- plan rada interne kontrole izvođača.

Prije pristupanja radovima na montaži potrebno je predočiti odobreni *Projekt montaže*.

Navedena dokumentacija sastavni je dio dokumentacije za tehnički pregled konstrukcije. Tijekom izrade i montaže konstrukcije izvođač radova dužan je voditi zakonom propisane dnevниke, koje je uz internu kontrolu izvođača dužan ovjeriti i nadzorni inženjer. Ako se materijal za izradu konstrukcije nabavlja i tijekom izrade čelične konstrukcije, potrebno je nadzornom organu staviti na uvid odgovarajuća uvjerenja o kvaliteti.

Prije isporuke konstrukcije na gradilište vrši se prijem konstrukcije u radionici uz pribavljenu kompletну dokumentaciju o kvaliteti. O prijemu konstrukcije sastavlja se zapisnik koji ovjeravaju svi sudionici izgradnje: investitor, izvođač radova u radionici, nadzorni inženjer te predstavnik izvođača radova na montaži konstrukcije.

3.2. Propisi

Potrebno je pridržavati se svih normi i propisa navedenih u projektu te poštovati pravila dobre izvedbe.

3.3. Opće napomene za izradu čelične konstrukcije u radionici

Prilikom rezanja materijala treba paziti na mogućnost pojave lokalnih zareza, naročito kod vlačno napregnutih elemenata, Svaki uočeni zarez potrebno je izbrusiti ili dovariti i izbrusiti.

Svi elementi trebaju biti izrađeni u granicama dopuštenih odstupanja. Premaše li odstupanja granične vrijednosti, potrebno je zatražiti suglasnost projektanta na izvedeno stanje.

Kod zavarivačkih radova potrebno je osigurati stalnu kontrolu prije, u toku i nakon izvedenih radova. Površine za zavarivanje moraju biti kvalitetno pripremljene i bez masnoće, rđe i druge prljavštine. Poslije izvedenih radova potrebno je obaviti dimenzionalnu i vizuelnu kontrolu te kontrole predviđene projektom. Po potrebi, izvodi se i probno sklapanje o čemu se sastavlja zapisnik, kojega ovjerava nadzorni inženjer. Prilikom izvođenja zavarivačkih radova potrebno je voditi računa da konstrukcija nakon hlađenja ne poprimi neželjeni deformirani oblik. Ne dopušta se zavarivanje na temperaturi nižoj od 0°C.

Za radove koji nakon potpunog sklapanja konstrukcije neće biti vidljivi, radi se zapisnik o preuzimanju u trenutku dostupnosti svih dijelova konstrukcije pregledu.

Dijelovi konstrukcije moraju se prije transporta na gradilište označiti i osigurati od oštećenja prije i u toku transporta na gradilište.

3.4. Elementi konstrukcije

Elemente konstrukcije potrebno je izraditi u svemu prema specifikacijama, crtežima i napucima iz ovog dijela projekta.

3.5. Materijali za izradu konstrukcije

Materijali za izradu konstrukcije navedeni su u statičkom proračunu te na priloženim radioničkim nacrtima. Cjelokupan korišteni materijal mora imati odgovarajuća uvjerenja o kvaliteti, a na osnovnom materijalu se mora vidljivo označiti broj šarže i lima sa uvjerenja. Prilikom razrezivanja proizvoda valjanja na manje dijelove potrebno je za važnije elemente nosive čelične konstrukcije prenositi i broj šarže i lima. Na elemente osjetljive na umaranje materijala, prenošenje osnovnih podataka mora se izvršiti bez utiskivanja oznaka, npr. bojom.

3.6. Antikorozijska zaštita

Antikorozijsku zaštitu smije se nanositi strogo prema zahtjevima projekta i propisa. Posebnu pažnju treba obratiti na vlažnost zraka i temperaturu. Nakon završene izvedbe svakog sloja potrebno je provjeriti debljinu i prionljivost premaza.

3.7. Protupožarna zaštita

Protupožarnu zaštitu smije se nanositi strogo prema zahtjevima projekta, propisa i uputa proizvođača. Posebnu pažnju treba obratiti na čistoću i suhoću površine. Nakon završene izvedbe svakog sloja potrebno je provjeriti debljinu i prionljivost nanešene zaštite.

3.8. Prijem elemenata čelične konstrukcije

Prijem elemenata čelične konstrukcije u radionici obavlja se prije isporuke na gradilište na temelju radioničkih crteža i specifikacije. Prilikom prijema radova potrebno je uz dokumentaciju navedenu u točki 3.1 staviti na uvid i sljedeće:

- radioničke nacrte sa specifikacijama
- dnevnik izrade u radionici
- dnevnik zavarivačkih radova u radionici
- dnevnik izvođenja antikorozijske zaštite
- izvješće interne kontrole o kvaliteti izvedenih radova

Prijem montirane čelične konstrukcije na gradilištu obavlja se na temelju radioničkih crteža i projekta montaže. Prilikom prijema izvedene konstrukcije potrebno je staviti na uvid i sljedeće dokumente:

- kompletну dokumentaciju sa primopredaje konstrukcije u radionici
- projekt montaže
- radioničke nacrte sa specifikacijama
- dnevnik izvođenja radova na montaži
- dnevnik zavarivačkih radova na montaži
- dnevnik izvođenja antikorozijske zaštite
- izvješće interne kontrole o kvaliteti izvedenih radova
- uvjerenja o kvaliteti dodatnog materijala, sredstava za spajanje te sredstava za antikorozisku i protupožarnu zaštitu
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje radova na montaži
- uvjerenja zavarivača koji će raditi na izradi i montaži konstrukcije za vrstu zavarivačkih radova koja će se primjenjivati, za traženu debljinu, materijal i položaj zavarivanja
- specifikacija postupaka zavarivanja i odobrenje o primjeni postupaka zavarivanja
- uvjerenja o ispravnosti strojeva za izvođenje zavarivačkih radova
- plan izvođenja zavarivačkih radova
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje antikorozijske zaštite
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje protupožarne zaštite
- ovlaštenja svih odgovornih osoba u sustavu interne kontrole izvođača
- plan rada interne kontrole izvođača

4. LISTA PRISTANKA - COMPLIANCE LIST

		LISTA PRISTANKA	Odobrenje za:	Potpis	
			Tehnički dio		
			Kvaliteta		
			Tržište		
		Investitor			
		Projekt			
		Oznaka			
		Broj			
		Datum			
Br.	Metoda ili vrsta aktivnosti/ispitivanja	Kriterij pristanka	Način pristanka	Znak	Napomene
0.0	JEZIK - OPĆENITO	Hrvatski		0	
1.0	PRORAČUN KONSTRUKCIJE				
1.1	Eurocode 3	EN 1993-1-1		0	
1.2	Eurocode 4	EN 1994-1-1		0	
1.3	Eurocode 8	EN 1998-1		0	
2.0	DJELOVANJA				
2.1	Vjetar	Brzina vjetra 15 m/s	Po cijeloj visini	Y	
2.2	Snijeg	0 m.n.v. I. Zona		Y	
2.3	Promjena temperature	/- 35°C		Y	
2.4	Potres	VIII. Zona		Y	
3.0	OSNOVNI MATERIJAL				
3.1	Konstrukcijski čelik	EN 10025		0	
3.2	Kvalitetna grupa	S 275 JR G2		0	
4.0	VIJČANI PRIKLJUČCI				
4.1	Kvaliteta materijala za vijke	8.8 ISO 898-1		0	
4.2	Matica za vijak	8 ISO 898-2		0	
4.3	Podložna pločica			0	
4.4	AKZ - vruća galvanizacija	DIN 267 - Part 10		0	
Ref.				Y	pristanak naručioca
				N	bez pristanka
				P	djelomična sugl.
				O	podrazumjeva se ali bez navoda nar.

		LISTA PRISTANKA		Odobrenje za:	Potpis
				Tehnički dio	
				Kvaliteta	
				Tržište	
		Investitor			
		Projekt			
		Oznaka			
		Broj			
		Datum			
Br.	Metoda ili vrsta aktivnosti/ispitivanja	Kriterij pristanka	Način pristanka	Znak	Napomene
5.0	ZAVARENI PRIKLJUČCI				
5.1	Osiguranje kvalitete	EN 729-2	uvjerenje/izvještaj	0	
5.2	Kvaliteta - kriterij prihvaćanja	EN 25 817		0	
5.3	Kvaliteta za NDE/UT	EN 1 714	uvjerenje 10%	0	
5.4	Kvaliteta za NDE/MT	EN 1 290	uvjerenje 5%	0	
5.5	Kvaliteta - vizuelni pregled	EN 970	100%	0	
5.6	Uvjerenje zavarivača	EN 287-1		0	
5.7	Kvaliteta za ispitivanje NDE/PT	EN 1 289		0	
5.8	Kvaliteta za NDE/RK	EN 1 435		0	
6.0	DIMENZIONALNA KONTROLA	ISO 13929 klasa C		0	
7.0	AKZ - GALVANIZACIJA				
7.1	Priprema površine	ISO 8501		0	
7.2	Metoda ispitivanja	KSB 10/5 - 2.0		0	
7.3	Način kontrole	KSB 10/5 - 2.1		0	
8.0	AKZ - VRUĆE CINČANJE	DIN 267		0	
Ref.				Y	pristanak naručioca
				N	bez pristanka
				P	djelomična sugl.
				O	podrazumjeva se ali bez navoda nar.

5. ANALIZA DJELOVANJA

5.1. STALNA DJELOVANJA

Vlastita težina elemenata konstrukcije:

Vlastita težina pokrova (trapezni lim): $0,1 \text{ kN/m}^2$

Težina instalacija po krovištu: $0,5 \text{ kN/m}^2$

5.2. DJELOVANJE SNIJEGOM NA KROVU

Snijeg

Zona I

Nadmorska visina 0 m

Karakteristično opterećenje snijegom na tlu: $s_k = 0,88 \text{ kN/m}^2$

Koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu: $\mu_i = 0,8$

Koeficijent izloženosti: $C_0 = 1$

Temperaturni koeficijent: $C_1 = 1$

Djelovanje snijegom na krovu:

$$s = s_k \times \mu_i \times C_0 \times C_1 = 0,88 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0 = 0,704 \text{ kN/m}^2$$

5.3. DJELOVANJE VJETROM

Vjetar

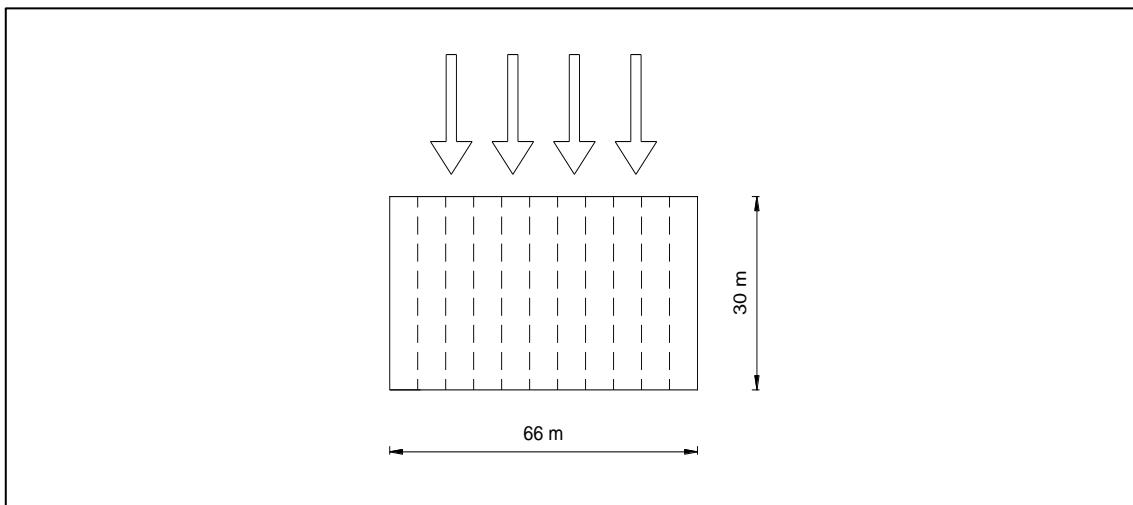
Referentna brzina $v_{ref} = 15 \text{ m/s}$

Kategorija terena II

Pritisak vjetra:

$$w_e = q_{ref} \times C_e(Ze) \times C_{pe}$$

5.3.1. SLUČAJ I. - VANJSKI TRANSVERZALNI PRITISAK, VRATA ZATVORENA



Slika 1. Tlocrt čelične hale i opterećenje vjetrom

VANJSKI PRITISAK

Vanjski pritisak na vertikalne strane

Referentni pritisak vjetra

$$q_{ref} = (\rho_{zraka} \times v_{ref}^2)/2$$

$$q_{ref} = (1,25 \times 15^2)/2 = 140,63 \text{ N/m}^2$$

$$q_{ref} = 0,141 \text{ kN/m}^2$$

Referentna visina

$$h = 9 \text{ m}$$

$$b = 66 \text{ m}$$

$$h < b \rightarrow z_e = h = 9 \text{ m}$$

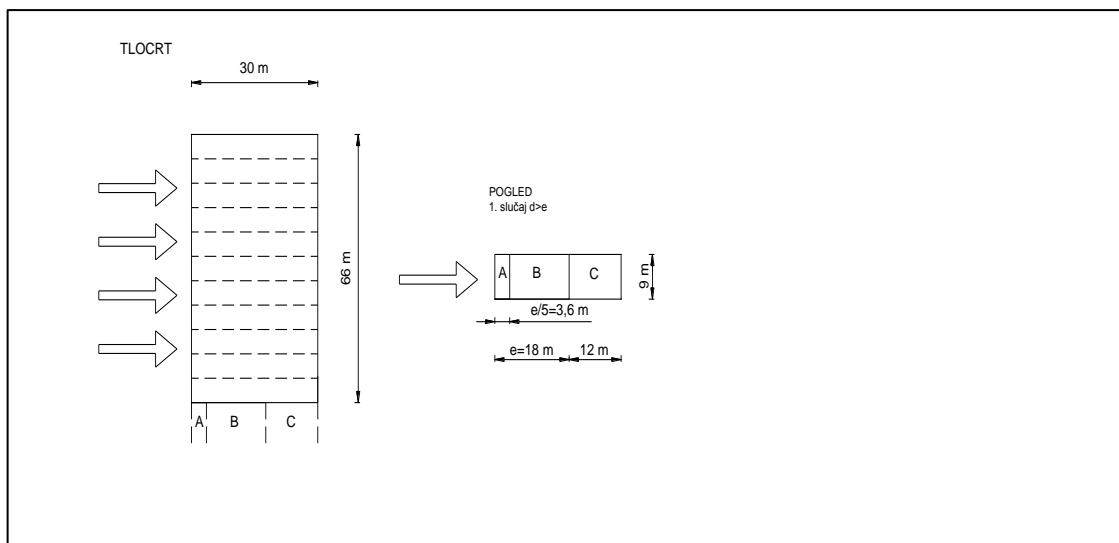
Koeficijent pritiska na vertikalne stijene

$$e = \min(b; 2h) = \min(66, 18) = 18 \text{ m}$$

$$d = 30 \text{ m}$$

$$d > e \quad 30 > 18$$

$$h/d = 9/30 = 0,30$$



Slika 2. Tlocrt i pogled na vertikalne stijene opterećene transverzalnim vjetrom

POVRŠINA (A) =	$32,4 > 10 \text{ m}^2$	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	-1,2
POVRŠINA (B) =	129,6	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	-0,8
POVRŠINA (C) =	108	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	-0,5
POVRŠINA (D) =	594	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	0,71
POVRŠINA (E) =	594	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	-0,31

Koeficijent izloženosti:

Teren kategorije II

$$Z_e = 9 \text{ m}$$

$$C_e(9,0) = 2,25$$

Djelovanje vjetra na vertikalne površine:

$$W_e^A = 0,141 \times 2,25 \times (-1,2) = -0,380 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^B = 0,141 \times 2,25 \times (-0,8) = -0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^C = 0,141 \times 2,25 \times (-0,5) = -0,158 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^D = 0,141 \times 2,25 \times (+0,71) = 0,225 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^E = 0,141 \times 2,25 \times (-0,31) = -0,098 \text{ kN/m}^2$$

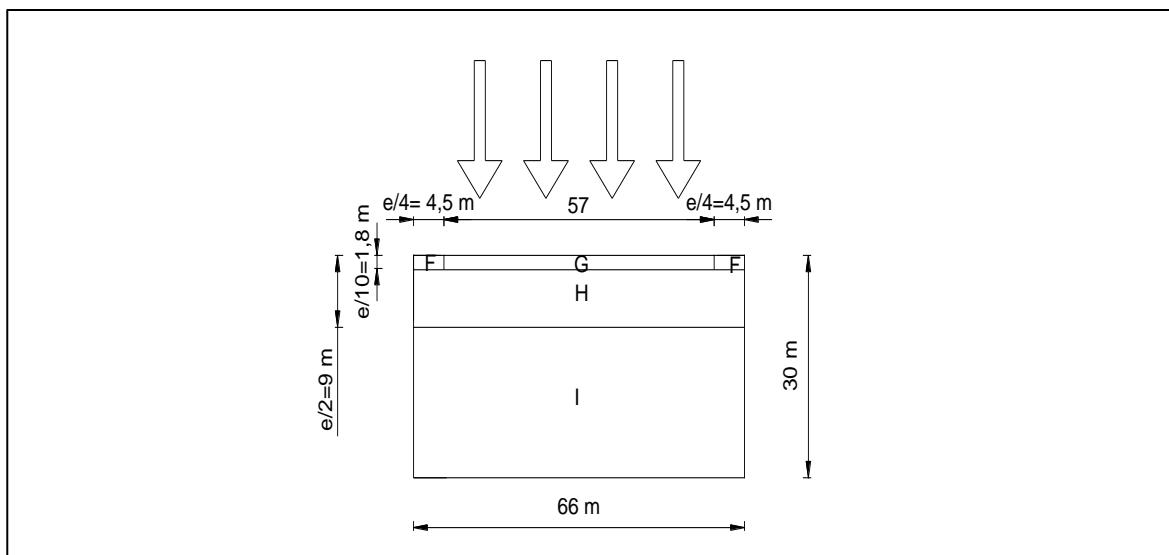
VANJSKI PRITISAK NA KROVNU PLOHU

Referentna visina

$$\begin{aligned} h &= 9 \text{ m} \\ b &= 66 \text{ m} \\ d &= 30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$h < b \rightarrow 9 < 66 \rightarrow z_e = h = 9,0 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(66, 18) = 18 \text{ m}$$



Slika 3. Shema opterećenja vjetrom krovne plohe

POVRŠINA (F) =	$8,1 < 10 \text{ m}^2$	$C_{pe} =$	-1,86
POVRŠINA (G) =	102,6	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	-1,2
POVRŠINA (H) =	475,2	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	-0,7
POVRŠINA (I) =	1386	$C_{pe} = C_{pe,10} =$	0,2 -0,2

Koeficijent izloženosti:

Teren kategorije II

$$z_e = 9 \text{ m}$$

$$C_e(9,0) = 2,25$$

Djelovanje vjetra na vertikalne površine:

$$W_e^F = 0,141 \times 2,25 \times (-1,86) = -0,589$$

$$W_e^G = 0,141 \times 2,25 \times (-1,2) = -0,380$$

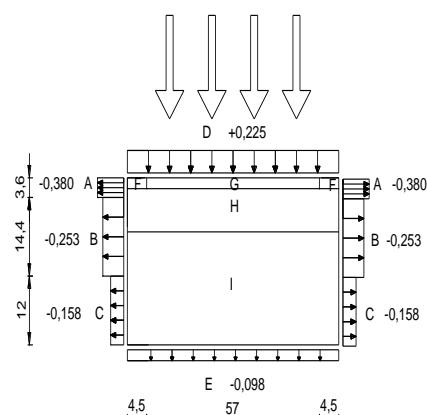
$$W_e^H = 0,141 \times 2,25 \times (-0,7) = -0,221$$

$$W_e^I = 0,141 \times 2,25 \times (+/-0,2) = 0,063 \quad -0,063$$

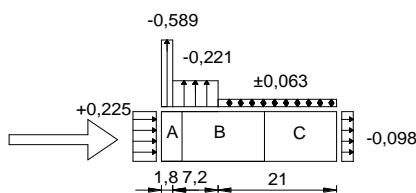
UNUTARNJI PRITISAK NA VERTIKALNU KROVNU PLOHU

$w_i = 0 \text{ kN/m}^2$ (zatvorena građevina)

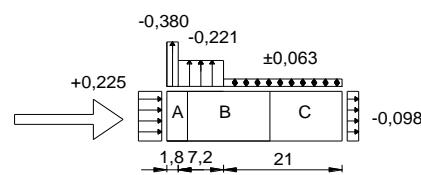
KARAKTERISTIČNE VELIČINE DJELOVANJA VJETROM U [kN/m²] ZA SLUČAJ I.



a) rubni dijelovi građevine

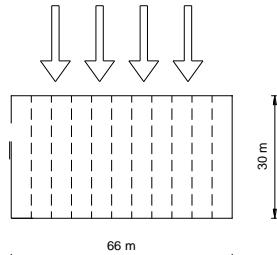


b) središnji dijelovi građevine



Slika 4. Shema opterećenja vjetrom za slučaj I.

5.3.2. SLUČAJ II. - VANJSKI TRANSVERZALNI PRITISAK, VRATA OTVORENA



Slika 5. Tlocrt hale - vrata otvorena

VANJSKI PRITISAK

Isto kao za slučaj I.

UNUTARNJI PRITISAK

$$w_e = q_{ref} \times C_e(Z_i) \times C_{pi}$$

Referentna visina

Otvori: klizna vrata $5,0 \times 5,0$ m $h = 5$ m

$Z_i = 5/2 = 2,5$ srednja vrijednost visine otvora

Koeficijent unutarnjeg pritiska C_{pi}

$$\mu = A_1/A = 1$$

$C_{pi} = -0,5$ za građevine s unutarnjim pregradama najnepovoljniji slučaj

Koeficijent izloženosti

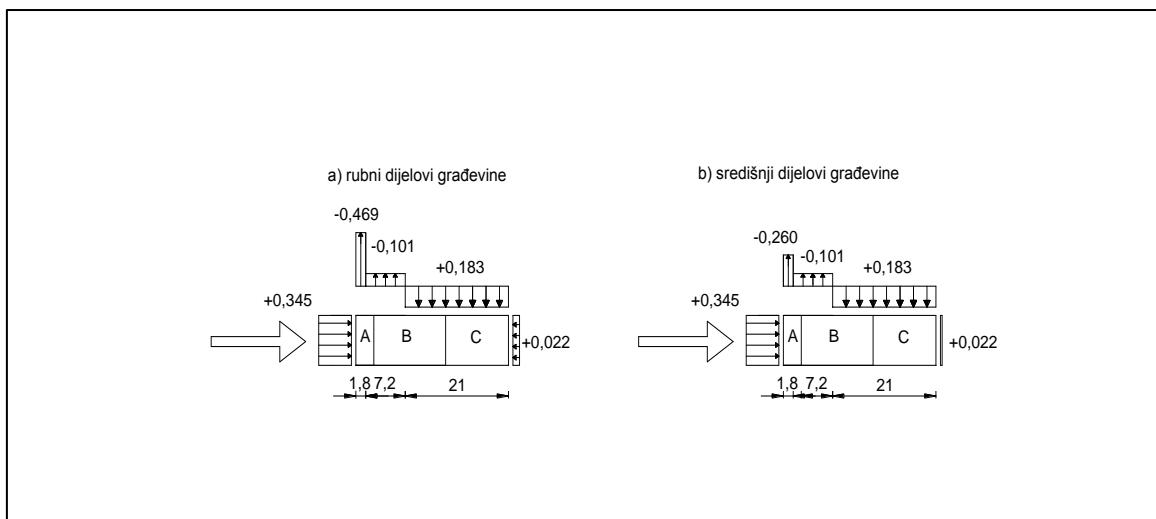
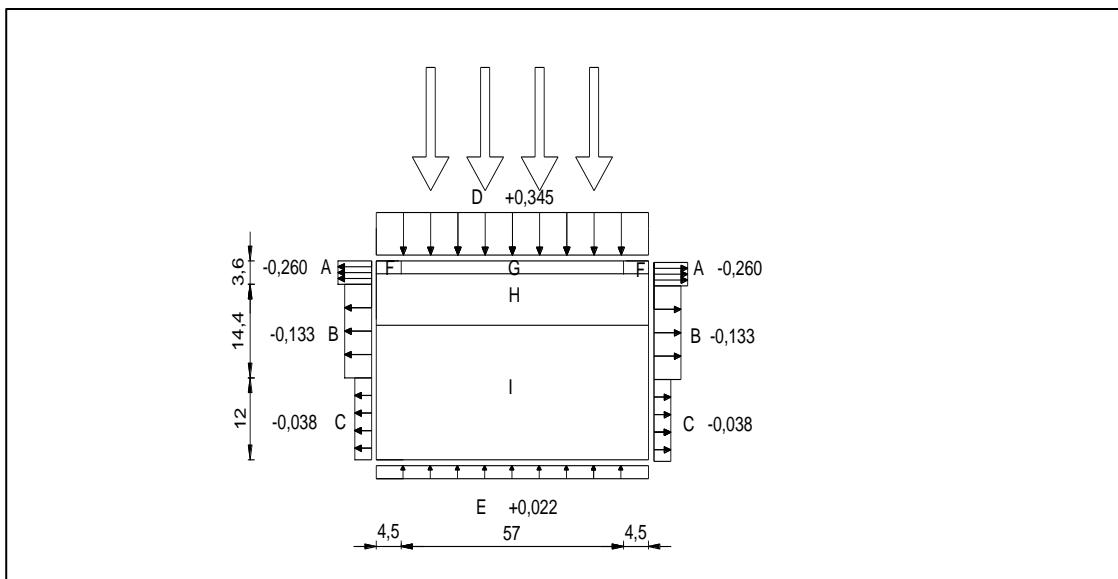
$$z_i = 2,5 \text{ m}$$

$$C_e(2,5) = 1,75$$

Djelovanje vjetra na unutarnje površine

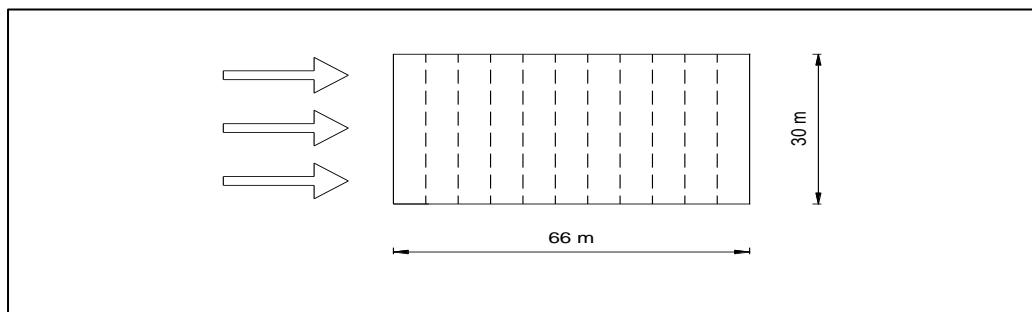
$$w_i = 0,141 \times 1,75 \times (-0,5) = -0,12 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{sisanje})$$

KARAKTERISTIČNE VELIČINE DJELOVANJA VJETROM U [kN/m²] –SLUČAJ II.



Slika 6. Shema opterećenja vjetrom - slučaj II.

5.3.3. SLUČAJ III. - VANJSKI LONGITUDINALNI PRITISAK, VRATA ZATVORENA



Slika 7. Tlocrt hale - longitudinalni vjetar

VANJSKI PRITISAK

Vanjski pritisak na vertikalne plohe

Referentni pritisak vjetra

$$q_{ref} = (\rho_{zraka} \times v_{ref}^2)/2$$

$$q_{ref} = (1,25 \times 15^2)/2 = 140,63 \text{ N/m}^2$$

$$q_{ref} = 0,141 \text{ kN/m}^2$$

Referentna visina

$$h = 9 \text{ m}$$

$$b = 30 \text{ m}$$

$$h < b \rightarrow z_e = h = 9 \text{ m}$$

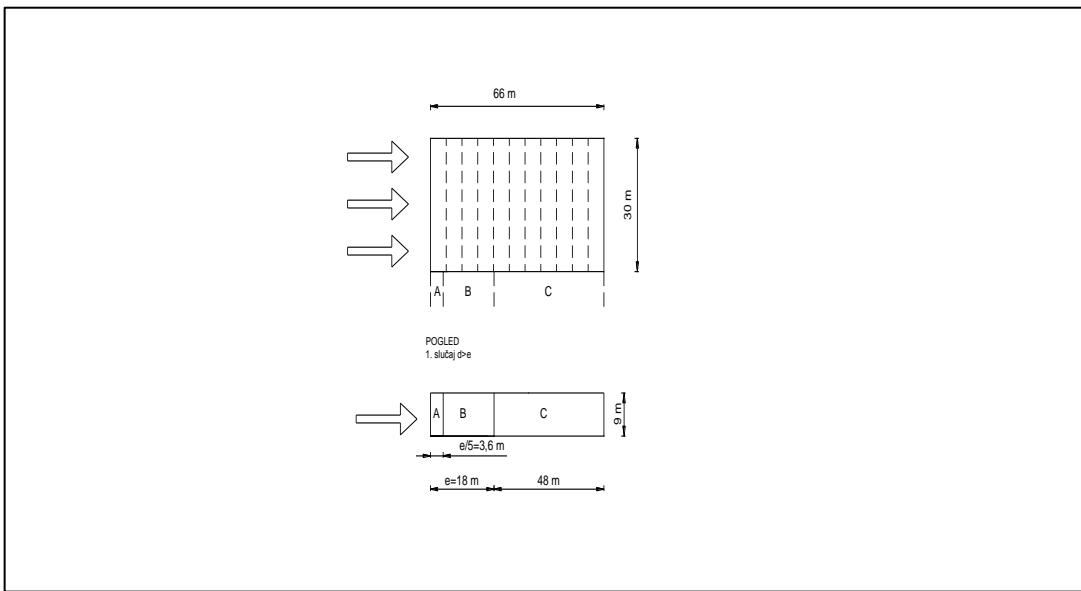
Koeficijent pritiska na vertikalne stijene

$$e = \min(b; 2h) = \min(30, 18) = 18 \text{ m}$$

$$d = 66 \text{ m}$$

$$d > e \quad 66 > 18$$

$$h/d = 9/66 = 0,14 < 0,25$$



Slika 8. Shema opterećenja vjetrom

POVRŠINA (A) =	$32,4 > 10 \text{ m}^2$	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-1,2
POVRŠINA (B) =	129,6	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,8
POVRŠINA (C) =	432	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,5
POVRŠINA (D) =	270	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0,7
POVRŠINA (E) =	270	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,3

Koeficijent izloženosti:

Teren kategorije II

$$Z_e = 9 \text{ m}$$

$$C_e(9,0) = 2,25$$

Djelovanje vjetra na vertikalne površine:

$$W_e^A = 0,141 \times 2,25 \times (-1,2) = -0,380 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^B = 0,141 \times 2,25 \times (-0,8) = -0,253 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^C = 0,141 \times 2,25 \times (-0,5) = -0,158 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^D = 0,141 \times 2,25 \times (+0,7) = 0,221 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^E = 0,141 \times 2,25 \times (-0,3) = -0,095 \text{ kN/m}^2$$

VANJSKI PRITISAK NA KROVNU PLOHU

Referentna visina

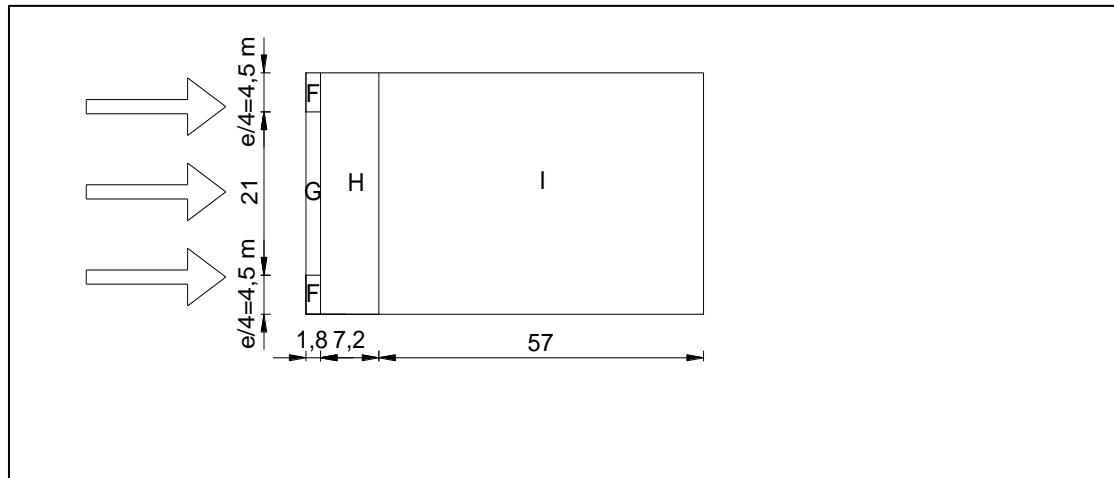
$$h = 9 \text{ m}$$

$$b = 30 \text{ m}$$

$$d = 66 \text{ m}$$

$$h < b \rightarrow 9,0 < 30 \rightarrow z_e = h = 9,0 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(30, 18) = 18 \text{ m}$$



Slika 9. Shema opterećenja vjetrom

Koeficijent pritiska za ravne krovove:

$$\text{POVRŠINA (F)} = 8,1 > 10 \text{ m}^2 \quad C_{pe} = C_{pe,10} = -1,86$$

$$\text{POVRŠINA (G)} = 37,8 \quad C_{pe} = C_{pe,10} = -1,2$$

$$\text{POVRŠINA (H)} = 216 \quad C_{pe} = C_{pe,10} = -0,7$$

$$\text{POVRŠINA (I)} = 1710 \quad C_{pe} = C_{pe,10} = 0,2 \quad -0,2$$

Koeficijent izloženosti:

Teren kategorije II

$$z_e = 9 \text{ m}$$

$$C_e(9,0) = 2,25$$

Djelovanje vjetra na vertikalne površine:

$$W_e^F = 0,141 \times 2,25 \times (-1,86) = -0,589$$

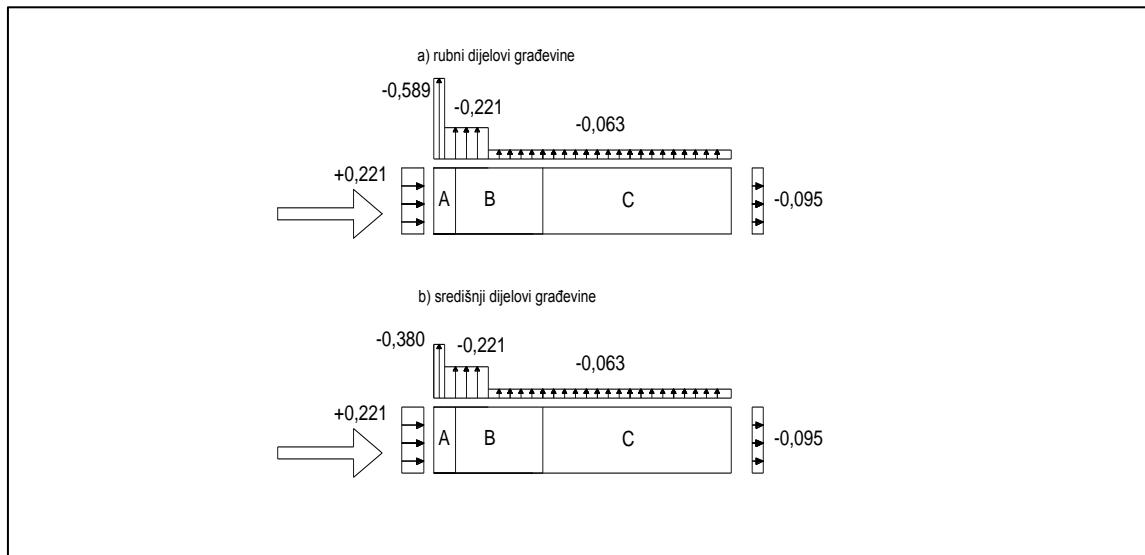
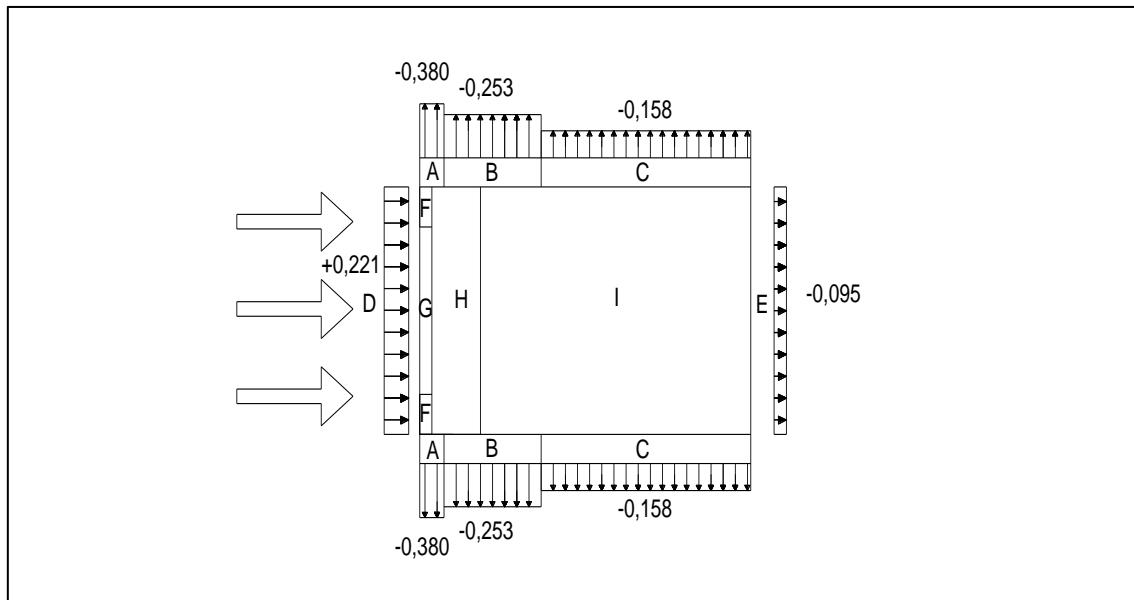
$$W_e^G = 0,141 \times 2,25 \times (-1,2) = -0,380$$

$$W_e^H = 0,141 \times 2,25 \times (-0,7) = -0,221$$

$$W_e^I = 0,141 \times 2,25 \times (+/-0,2) = 0,063 \quad -0,063$$

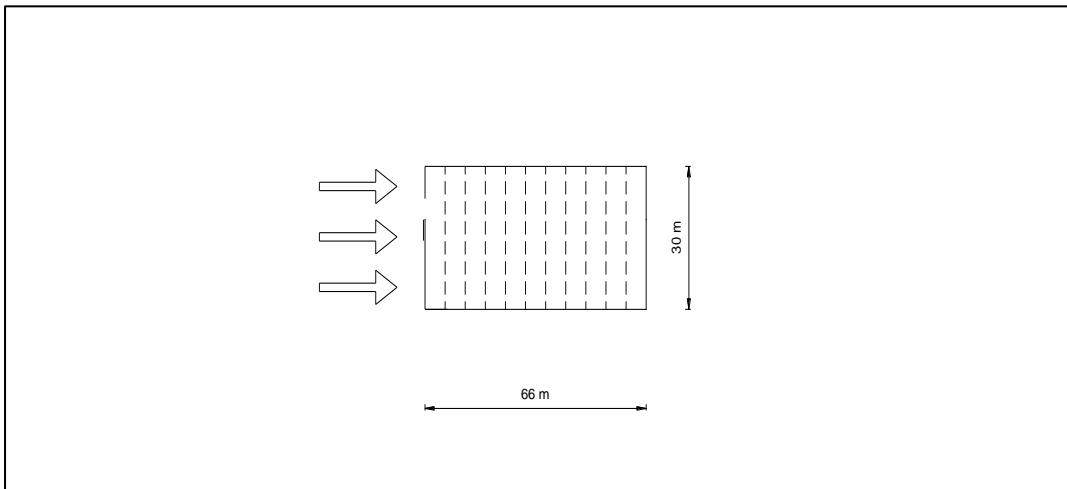
UNUTARNJI PRITISAK NA VERTIKALNU KROVNU PLOHU

$w_i = 0 \text{ kN/m}^2$ (zatvorena građevina)



Slika 10. Shema opterećenja vjetrom - slučaj III.

5.3.4. SLUČAJ IV. - VANJSKI LONGITUDINALNI PRITISAK, VRATA OTVORENA



VANJSKI PRITISAK

Isto kao za slučaj III.

UNUTARNJI PRITISAK

$$w_e = q_{ref} \times C_e(Z_i) \times C_{pi}$$

Referentna visina

Otvori: klizna vrata $5,0 \times 5,0\text{m}$ $h=$ 5 m

$Z_i = 5/2 =$ $2,5$ srednja vrijednost visine otvora

Koeficijent unutarnjeg pritiska C_{pi}

$$\mu = A_1/A = 0$$

$$C_{pi} = 0,8$$

Koeficijent izloženosti:

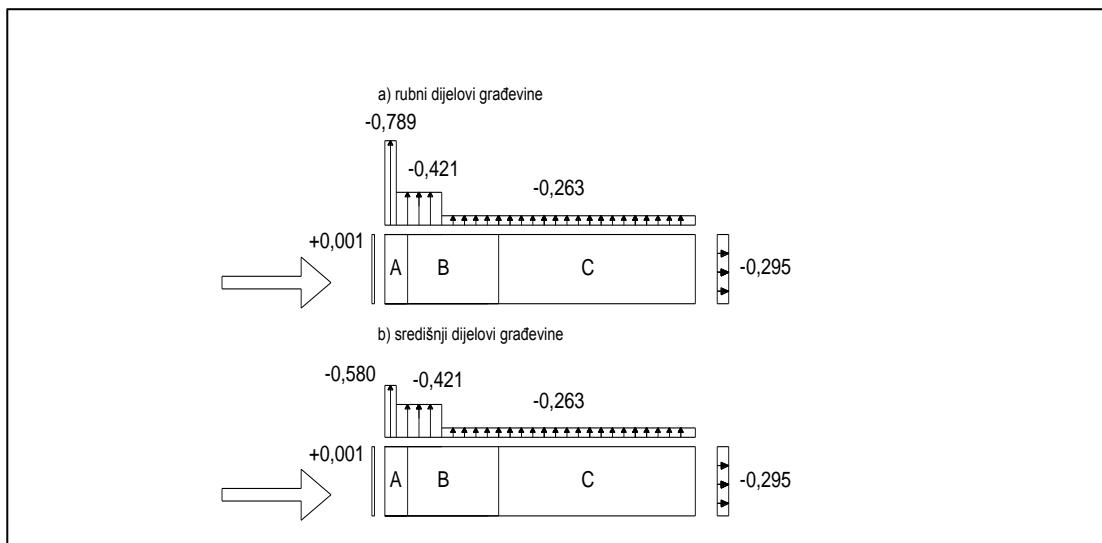
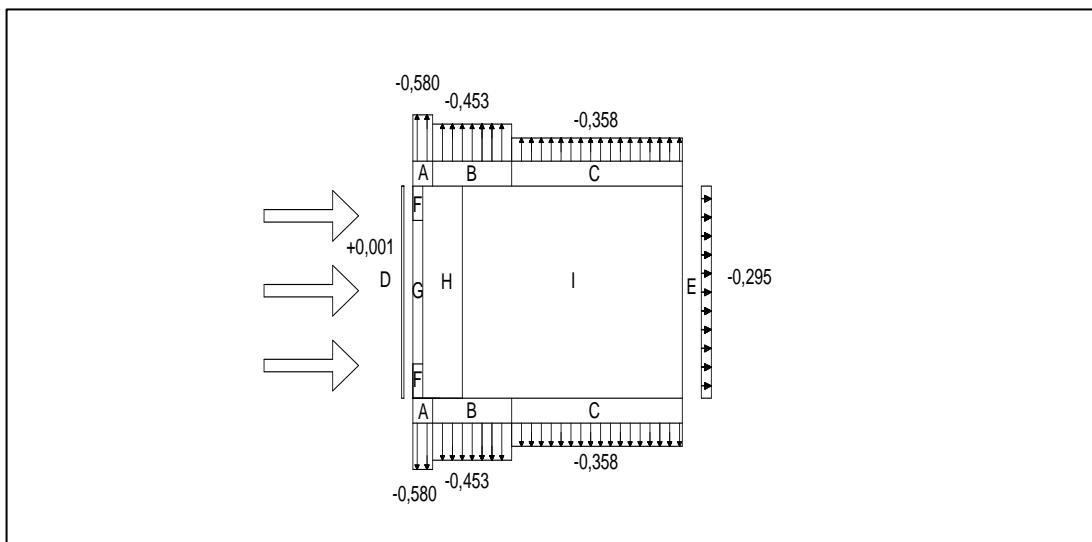
$$Z_i = 2,5\text{ m}$$

$$C_e(2,5) = 1,75$$

Djelovanje vjetra na unutarnje površine:

$$w_i = 0,141 \times 1,75 \times (+0,8) = 0,20 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{napuhavanje})$$

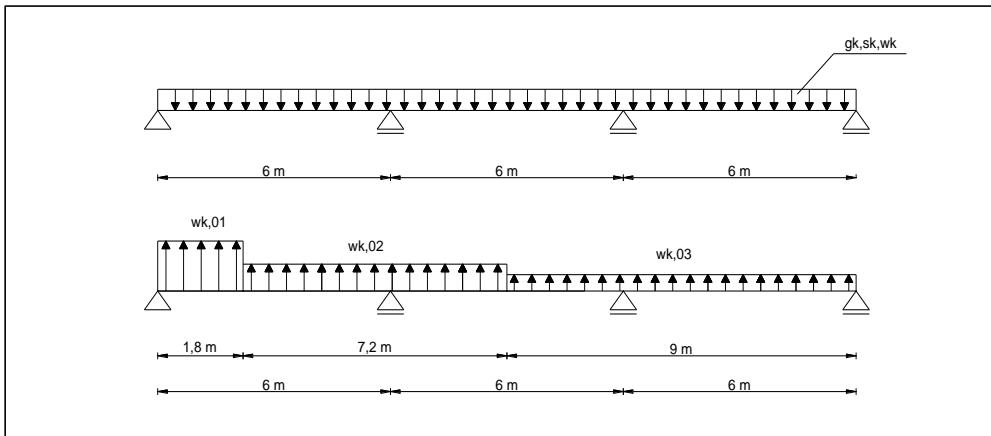
KARAKTERISTIČNE VELIČINE DJELOVANJA VJETRA –SLUČAJ IV.



Slika 12. Shema opterećenja vjetrom - slučaj IV.

6. PODROŽNICE

6.1. ANALIZA DJELOVANJA



Slika 13. Statički sustav podrožnica

razmak podrožnica $e = 1,875 \text{ m}$

Stalno opterećenje

trapezni lim:	0,188 kN/m'
podrožnica:	uzima se kao vlastita težina u STAAD-u
instalacije:	0,938 kN/m'
$g_k =$	1,13 kN/m'

Opterećenje snijegom

snijeg 1,32 kN/m'

Opterećenje vjetrom

pritiskajuće djelovanje: $w_k =$	0,183 kN/m ² =	0,34 kN/m'
odižuće djelovanje: $w_k^{01} =$	-0,789 kN/m ² =	-1,48 kN/m'
$w_k^{02} =$	-0,421 kN/m ² =	-0,79 kN/m'
$w_k^{03} =$	-0,263 kN/m ² =	-0,49 kN/m'

6.2. ANALIZA PODROŽNICE

Komponente djelovanja koje djeluju paralelno s osi y-y poprečnog presjeka profila su male i preuzima ih pokrov.

Kombinacije djelovanja:

- Gravitacijsko djelovanje

- stalno + snijeg + pritisak vjetra

$$q_d = 1,35 \times g_k + 1,5 \times s_k + 1,5 \times 0,6 \times w_k = 3,808 \text{ kN/m}$$

- stalno + pritisak vjetra + snijeg

$$q_d = 1,35 \times g_k + 1,5 \times w_k + 1,5 \times 0,5 \times s_k = 3,023 \text{ kN/m}$$

- Odižuće djelovanje

- stalno+ odižući vjetar

$$q_d = 1,00 \times g_k + 1,5 \times w_k$$

Segmenti:

0- A	$q_d =$	-1,094
A-C	$q_d =$	-0,059
C- do kraja	$q_d =$	0,385

Mjerodavno opterećenje: $q_d = 3,808$

Komponenta opterećenja okomita na nagib krova:

$$q_{z,d} = q_d \times \cos \phi = 3,80 \text{ kN/m}$$

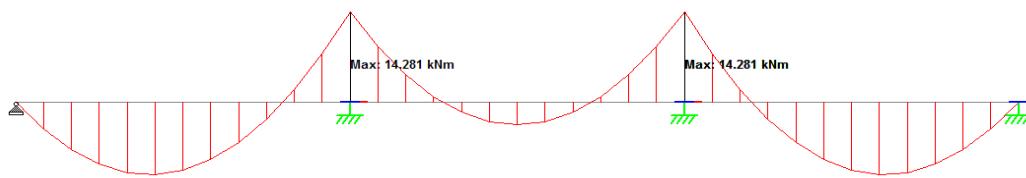
Komponenta opterećenja paralelna s nagibom krova:

$$q_{y,d} = q_d \times \sin \phi = 0,25 \text{ kN/m}$$

Statički proračun proveden u programu Staad 8 :

Momenti savijanja (najveće vrijednosti):

$$M_{z,Ed} = 14,28 \text{ kNm}$$



Dijagram momenata - z smjer

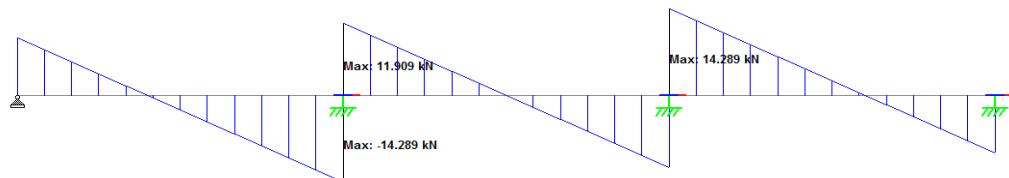
$$M_{y,Ed} = 0,94 \text{ kNm}$$



Dijagram momenata - y smjer

Poprečne sile (najveće vrijednosti):

$$V_{z,Ed} = 14,29 \text{ kN}$$



Dijagram poprečnih sila - z smjer

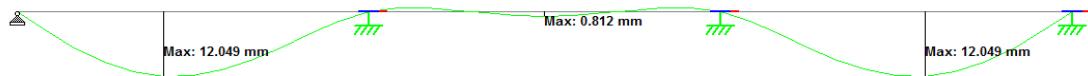
$$V_{y,Ed} = 0,94 \text{ kN}$$



Dijagram poprečnih sila - y smjer

Progib od promjenjivog djelovanja

$$\delta_2 = 12,05 \text{ mm}$$



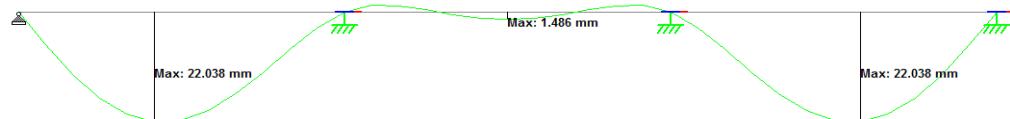
Dijagram progiba od promjenjivog djelovanja - pritisak



Dijagram progiba od promjenjivog djelovanja - odizanje

Progib od ukupnog djelovanja

$$\delta_{\max} = 22,04 \text{ mm}$$



Dijagram progiba od ukupnog djelovanja

6.3. DIMENZIONIRANJE PODROŽNICE

6.3.1 Granično stanje nosivosti (GSN)

Osnovni materijal:	S 235	$t < 40 \text{ mm}$
Granica popuštanja:	$f_y =$	235 N/mm^2
Vlačna čvrstoća:	$f_u =$	360 N/mm^2
Modul elastičnosti:	$E =$	210000 N/mm^2
Poissonov koeficijent:	$\nu =$	0,3

Prelimenarno dimenzioniranje:

$$q_d = g_k + s_k + 0,6 \cdot w_k = 2,78 \text{ kN/m} \quad (\text{sa vlastitom težinom podrožnice IPE 140} = 0,13 \text{ kN/m})$$

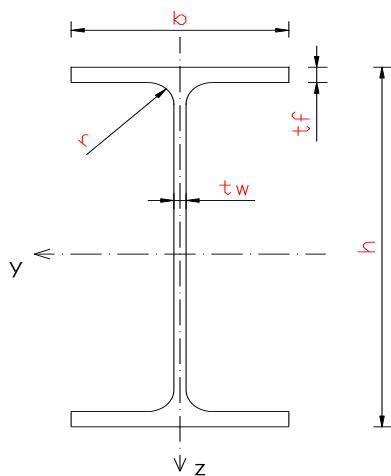
$$L = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$$

$$f_{\text{dop}} = L/200 = 600/200 = 3 \text{ cm}$$

$$f = 0,0069 \cdot q_d \cdot L^4 / E \cdot I_{\text{pot}} \leq L/200$$

$$I_{\text{pot}} \geq 394,6 \text{ cm}^4$$

Odabrani profil: IPE 140 ($I_y = 541,2 \text{ cm}^4$)



Profil IPE 140

PROFIL	G [kg/m]	A [cm^2]	Dimenzijsi poprečnog presjeka					Konstante	
			h [mm]	b [mm]	t_w [mm]	t_f [mm]	r [mm]	I_t [cm^4]	$I_w \cdot 10^3 \text{ cm}^6$
IPE 140	12,9	16,43	140	73	4,7	6,9	7	2,45	1,98

PROFIL	STATIČKE VELIČINE									
	os y-y					os z-z				
	I_y [cm^4]	W_y [cm^3]	$W_{pl,y}$ [cm^3]	i_y [cm]	$A_{v,z}$ [cm^2]	I_z [cm^4]	W_z [cm^3]	$W_{pl,z}$ [cm^3]	i_z [cm]	$A_{v,y}$ [cm^2]
IPE 140	541,2	77,32	88,34	5,74	7,64	44,92	12,31	19,25	1,65	10,62

1. KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = 23,87$$

Uvjet klase 1:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72$$

$$23,87 < 72 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

HRBAT-KLASA 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = 3,93$$

Uvjet klase 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$$

$$3,93 < 9$$

POJASNICA-KLASA 1.

POPREČNI PRESJEK JE KLASE 1.

2. OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

2.1. Izloženost savijanju

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 2075,99 \text{ kNm} = 20,76 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti		
$M_{y,Ed} \leq M_{c,Rd}$		Uvjet zadovoljen!
14,28	<	20,76

2.2. izloženost poprečnoj sili (posmična otpornost)

Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = 26,85 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja na posmik

$$V_{pl,z,Rd} = A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Posmična površina u smjeru osi z

$$A_{vz} = A - 2bt_f + (t_w + 2r) \cdot t_f = 7,65 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 7,12 \text{ cm}^2$$

$$7,65 \geq 7,12 \rightarrow Av,z= 7,65 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd}= 103,74 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti		
$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd}$		Uvjet zadovoljen!
14,29	<	103,7429

2.3. Interakcija M-V

Reducirani moment plastične otpornosti

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \times V_{pl,z,Rd}$$

$$14,29 \leq 51,87 \quad \text{Nema redukcije otpornosti}$$

$$M_{y,v,Ed} = M_{c,Rd} = 20,76 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti		
$M_{y,Ed} \leq M_{y,v,Rd}$		Uvjet zadovoljen!
14,28	<	20,76

3. OTPORNOST ELEMENTA

3.1. Izloženost savijanju (otpornost elementa na bočno izvijanje)

Elastični kritični moment bočnog izvijanja

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot EI_z}}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

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

Torzijska konstanta

$$I_t = 2,45 \text{ cm}^4$$

Konstanta krivljenja

$$I_w = 1980 \text{ cm}^6$$

Koeficijent ovisan o opterećenju sustava

$$C_1 = 1,127$$

Razmak između točaka bočnog pridržanja tlačnog pojasa

$$L_{cr} = 200 \text{ cm} \quad \text{pridržanje na trećinama raspona}$$

$$M_{cr} = 2980,44 \text{ kNm}$$

Lateralna torzijska vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,83 > 0,4$$

Redukcijski faktor lateralnog torzijskog izvijanja

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

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

Mjerodavna linija izvijanja

$$\frac{h}{b} = \frac{140}{73} = 1,92 \leq 2$$

Lateralni faktor imperfekcija

$$\text{Linija a - } \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,91$$

$$\chi_{LT} = 0,78$$

Dokaz prema X (hi) postupku

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 16,10 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti

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

$$14,28 < 16,10 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

6.3.2 Granično stanje uporabivosti (GSU)

Dopušteni vertikalni progibi za podrožnice dani su u slijedećoj tablici:

Tablica N1: Ograničenje vertikalnih progiba konstruktivnih elemenata (oznake kao na slici A1.1)

Konstruktivni element	Granične vrijednosti kod karakterističnih kombinacija djelovanja	
	W_{max}	$W_2 + W_3$
Krovišta	L/200	L/250
Prohodna krovišta	L/250	L/300
Stropovi	L/250	L/300
Krovišta i stropovi koji nose krhke obloge i vrlo krute pregradne stjene	L/300	L/350
Stropovi koji nose stupove osim u slučaju da je konstrukcija promatrana kao cjelovita	L/400	L/500
U slučaju da je w_{max} važan za izgled konstrukcije	L/250	

$$\delta_2 < \delta_{2,dop} = L/250$$

$$1,205 \text{ cm} \quad < \quad 2,4 \text{ cm}$$

Progib na promjenjiva djelovanja zadovoljava

$$\delta_{uk} < \delta_{uk,dop} = L/200$$

$$2,204 \text{ cm} \quad < \quad 3 \text{ cm}$$

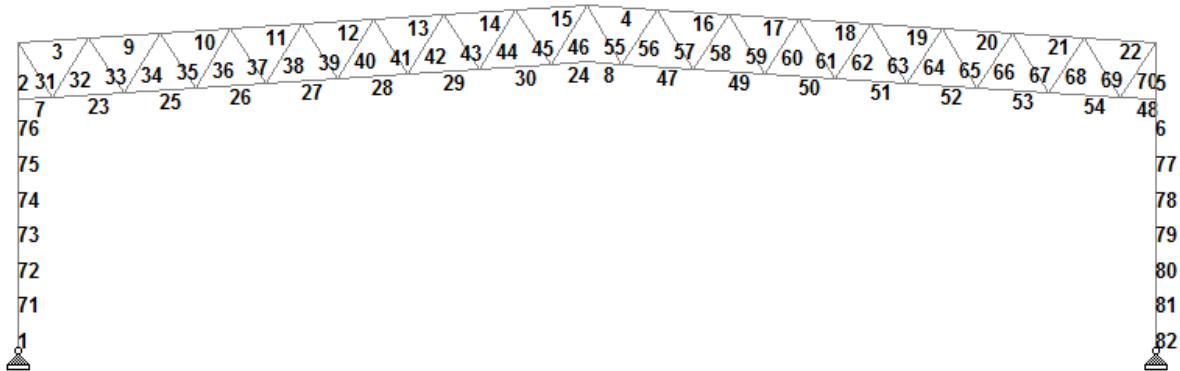
Progib na ukupna djelovanja zadovoljava

7. GLAVNI OKVIR - PROVJERA NA GSN I GSU

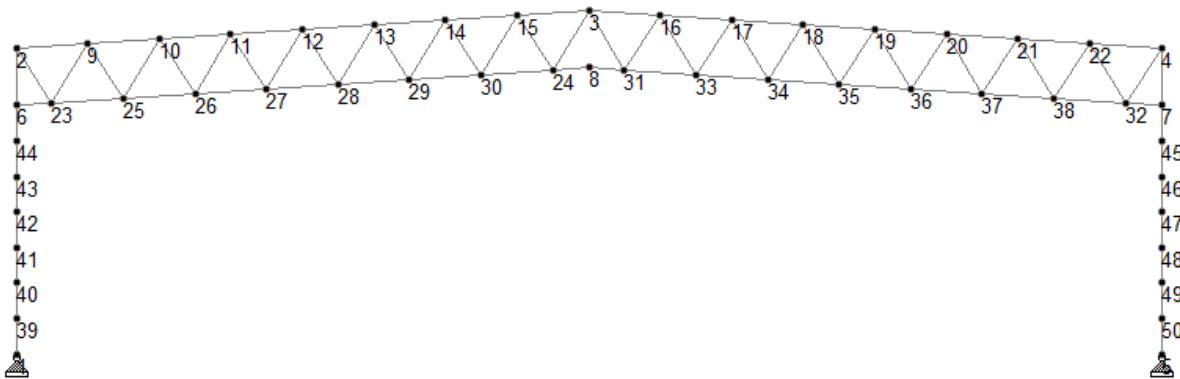
Geometrijske i statičke karakteristike poprečnih presjeka

	Stup	Prečka okvira - pojasevi	Prečka okvira - dijagonale
Profil	HEA 700	200x200x8,0	80x80x5,0
Elementi	1, 2, 5, 6, 71 - 82	3, 4, 7 - 30, 47 - 54	31 - 46, 55 - 70
A (cm ²)	260.5	59.8	14.8
I (cm ⁴)	215300	3622	138

STAAD model - elementi:



STAAD model - čvorovi:



7.1. ANALIZA OPTEREĆENJA

7.1.1. STALNO OPTEREĆENJE

- čvorovi: 3, 9-22
- pokrov: $0,1 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m} = 1,125 \text{ kN}$
- podrožnica: $0,13 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,0 \text{ m} = 0,78 \text{ kN}$

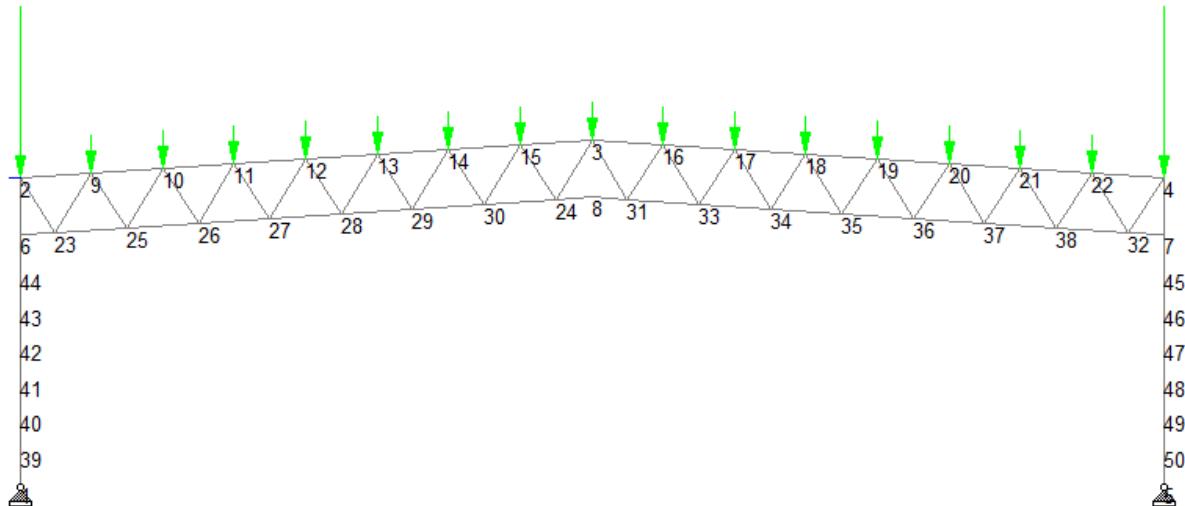
u svakom čvoru djeluje sila G1 $G_{1,k} = 1,91 \text{ kN}$
 $Y = -1,91 \text{ kN}$

- čvorovi: 2,4
- od krova: $0,5 \cdot 1,125 \text{ kN} + 0,78 \text{ kN} = 1,34 \text{ kN}$
- vertikalna obloga i prečke: $0,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} \cdot 8,0 \text{ m} = 7,2 \text{ kN}$

u svakom čvoru djeluje sila G2 $G_{2,k} = 8,54 \text{ kN}$
 $Y = -8,54 \text{ kN}$

Program sam uzima u obzir težinu konstrukcije.

Dijagram stalnog opterećenja:



7.1.2. INSTALACIJE PO KROVNOJ RAVNINI

- čvorovi: 3, 9-22
- instalacije: $0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m} = 5,63 \text{ kN}$

u svakom čvoru djeluje sila G3 $G_{3,k} = 5,63 \text{ kN}$
 $Y = -5,63 \text{ kN}$

- čvorovi: 2,4

- instalacije:

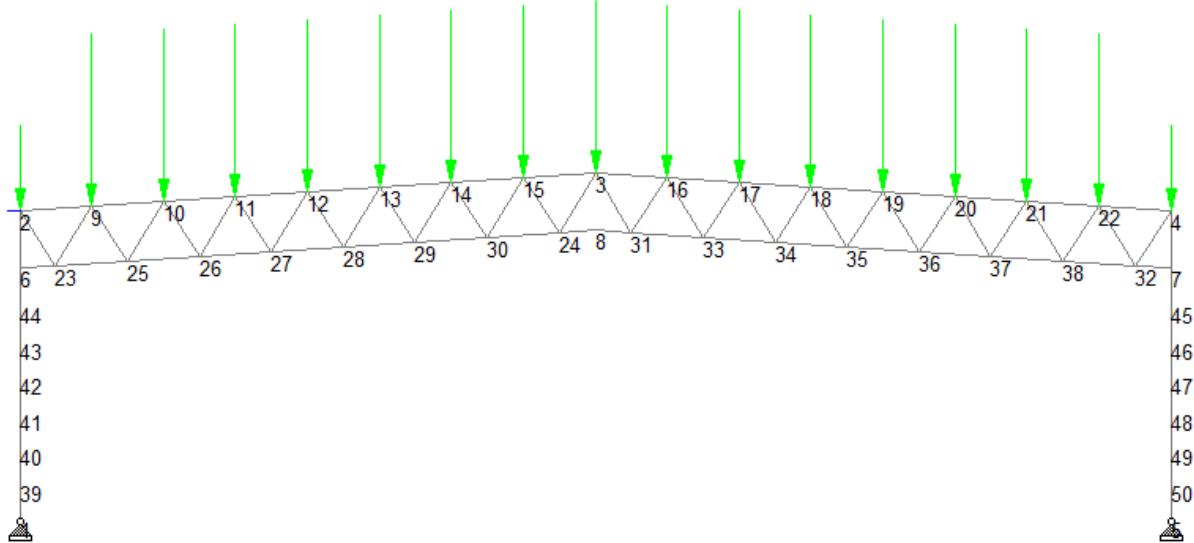
u svakom čvoru djeluje sila G4

$$0,5 \cdot 5,63 \text{ kN} = 2,82 \text{ kN}$$

$$G_{4,k} = 2,82 \text{ kN}$$

$$Y = -2,82 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja instalacijama:



7.1.3. OPTEREĆENJE SNIJEGOM - SLUČAJ I

- čvorovi: 3, 9-22

- snijeg:

$$0,704 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m} = 7,92 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila S1

$$S_{1,k} = 7,92 \text{ kN}$$

$$SY = -7,92 \text{ kN}$$

- čvorovi: 2,4

- snijeg:

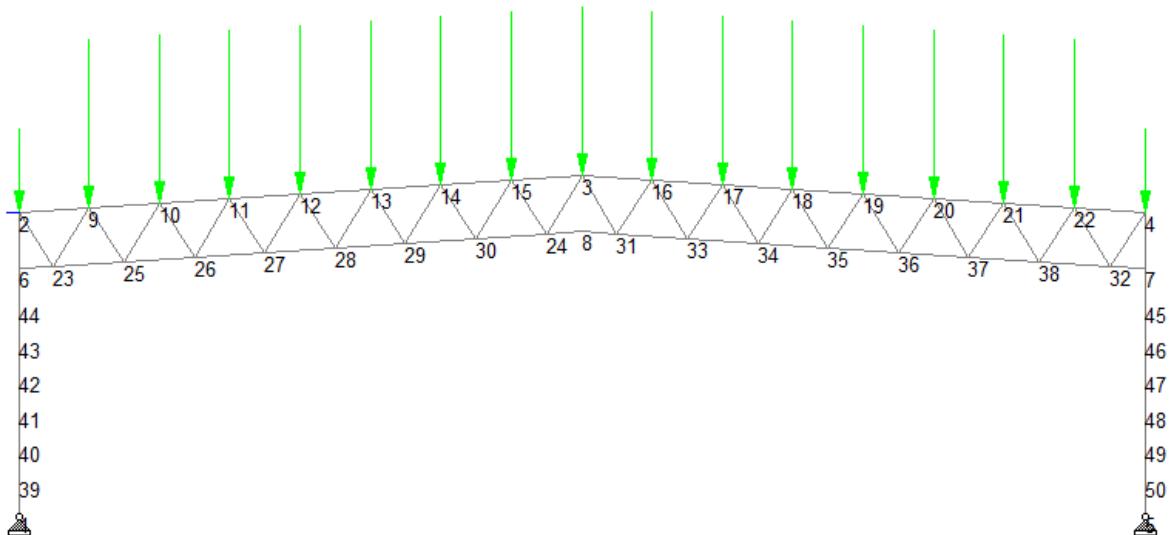
$$0,704 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = 3,96 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila S2

$$S_{1,k} = 3,96 \text{ kN}$$

$$SY = -3,96 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja snijegom - slučaj I:



7.1.4. OPTEREĆENJE SNIJEGOM - SLUČAJ II

- čvorovi: 9-15

- snijeg: $0,704 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m} = 7,92 \text{ kN}$

u svakom čvoru djeluje sila S3

$$S_{3,k} = 7,92 \text{ kN}$$

$$SY = -7,92 \text{ kN}$$

- čvor 2

- snijeg: $0,704 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = 3,96 \text{ kN}$

u čvoru 2 djeluje sila S4

$$S_{4,k} = 3,96 \text{ kN}$$

$$SY = -3,96 \text{ kN}$$

- čvorovi: 16-22

- snijeg: $0,5 \cdot 7,92 \text{ kN} = 3,96 \text{ kN}$

u svakom čvoru djeluje sila S5

$$S_{5,k} = 3,96 \text{ kN}$$

$$SY = -3,96 \text{ kN}$$

- čvor 4

- snijeg: $0,5 \cdot 3,96 \text{ kN} = 1,98 \text{ kN}$

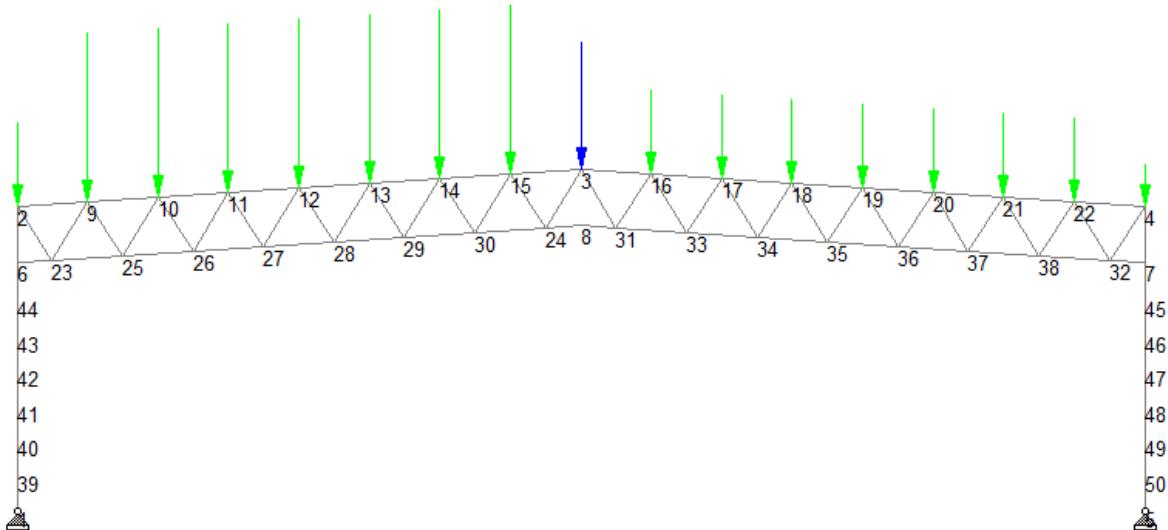
u čvoru 4 djeluje sila S6

$$S_{6,k} = 1,98 \text{ kN}$$

$$SY = -1,98 \text{ kN}$$

- čvor 3
 - snijeg:
u čvoru 3 djeluje sila S_7
-
- $$0,5 \cdot (7,92 \text{ kN} + 3,96 \text{ kN}) = 5,94 \text{ kN}$$
- $$S_{7,k} = 5,94 \text{ kN}$$
- $$S_Y = -5,94 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja snijegom - slučaj II:



7.1.5. OPTEREĆENJE VJETROM - SLUČAJ I

- elementi: 1, 2, 71 - 76
 - vjetar:
na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje:
-
- $$0,225 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = 0,68 \text{ kN/m}$$
- $$w_{1,k} = 0,68 \text{ kN/m}$$
- $$w_{1x} = 0,68 \text{ kN/m}$$
-
- elementi: 5, 6, 77 - 82
 - vjetar:
na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje:
-
- $$-0,098 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = -0,29 \text{ kN/m}$$
- $$w_{2,k} = -0,29 \text{ kN/m}$$
- $$w_{2x} = 0,29 \text{ kN/m}$$

- čvor 2
- okomito na krovnu plohu:

$$(-0,589 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} - 0,380 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m}) \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} = -2,43 \text{ kN}$$

u čvoru 2 djeluje sila:

$$W1X = -2,43 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,16 \text{ kN}$$

$$W1Y = 2,43 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,42 \text{ kN}$$

- čvor 9
- okomito na krovnu plohu:

$$(-0,589 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} - 0,380 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m}) \cdot 0,8625 \text{ m} - 0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0125 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -3,58 \text{ kN}$$

u čvoru 9 djeluje sila:

$$W2X = -3,58 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,24 \text{ kN}$$

$$W2Y = 3,58 \cdot \cos 3,81^\circ = 3,57 \text{ kN}$$

- čvorovi 10, 11 i 12
- okomito na krovnu plohu:

$$-0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -2,49 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W3X = -2,49 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,17 \text{ kN}$$

$$W3Y = 2,46 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,48 \text{ kN}$$

- čvor 13
- okomito na krovnu plohu:

$$(-0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5625 \text{ m} - 0,063 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,3125 \text{ m}) \cdot 6 \text{ m} = -1,24 \text{ kN}$$

u čvoru 13 djeluje sila:

$$W4X = -1,24 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,08 \text{ kN}$$

$$W4Y = 1,24 \cdot \cos 3,81^\circ = 1,237 \text{ kN}$$

- čvorovi 3, 14 - 22
- okomito na krovnu plohu:

$$-0,063 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -0,71 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W5X = \pm 0,71 \cdot \sin 3,81^\circ = \pm 0,05 \text{ kN}$$

$$W5Y = 0,71 \cdot \cos 3,81^\circ = 0,708 \text{ kN}$$

- čvor 4
- okomito na krovnu plohu:

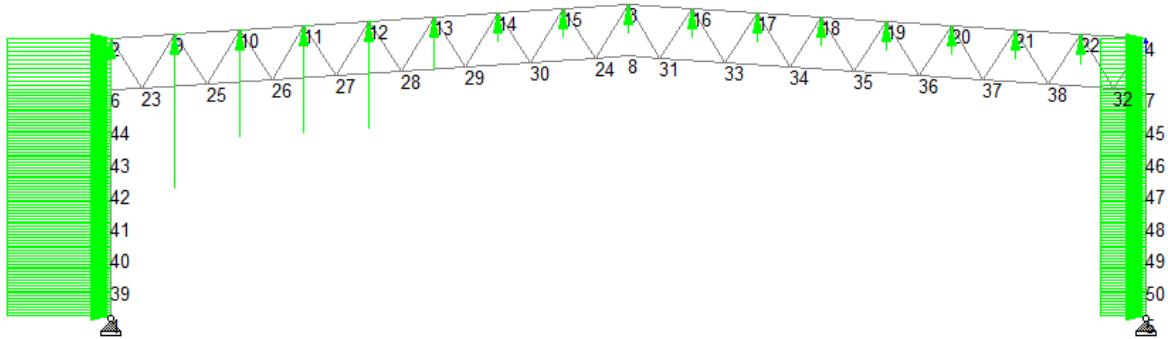
$$-0,063 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} \cdot 6 \text{ m} = -0,35 \text{ kN}$$

u čvoru 4 djeluje sila:

$$W6X = 0,35 \cdot \sin 3,81^\circ = 0,02 \text{ kN}$$

$$W6Y = 0,35 \cdot \cos 3,81^\circ = 0,349 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja vjetrom - slučaj I:



7.1.6. OPTEREĆENJE VJETROM - SLUČAJ II

- elementi: 1, 2, 71 - 76

- vjetar: $0,345 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = 1,04 \text{ kN/m}$

na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje: $w_{1,k} = 1,04 \text{ kN/m}$
 $w_{1x} = 1,04 \text{ kN/m}$

- elementi: 5, 6, 77 - 82

- vjetar: $0,022 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = 0,07 \text{ kN/m}$

na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje: $w_{2,k} = 0,07 \text{ kN/m}$
 $w_{2x} = -0,07 \text{ kN/m}$

- čvor 2

- okomito na krovnu plohu:

$$(-0,469 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} - 0,260 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m}) \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} = -1,76 \text{ kN}$$

u čvoru 2 djeluje sila:

$$W_{1X} = -1,76 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,12 \text{ kN}$$

$$W_{1Y} = 1,76 \cdot \cos 3,81^\circ = 1,756 \text{ kN}$$

- čvor 9
 - okomito na krovnu plohu:

$$(-0,469 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} - 0,260 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m}) \cdot 0,8625 \text{ m} - 0,101 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0125 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -2,23 \text{ kN}$$
-

u čvoru 9 djeluje sila:

$$W2X = -2,23 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,15 \text{ kN}$$

$$W2Y = 2,23 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,225 \text{ kN}$$

- čvorovi 10, 11 i 12
 - okomito na krovnu plohu:

$$-0,101 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -1,14 \text{ kN}$$
-

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W3X = -1,14 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,08 \text{ kN}$$

$$W3Y = 1,14 \cdot \cos 3,81^\circ = 1,137 \text{ kN}$$

- čvor 13
 - okomito na krovnu plohu:

$$(-0,101 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5625 \text{ m} + 0,183 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,3125 \text{ m}) \cdot 6 \text{ m} = 1,10 \text{ kN}$$
-

u čvoru 13 djeluje sila:

$$W4X = 1,10 \cdot \sin 3,81^\circ = 0,07 \text{ kN}$$

$$W4Y = -1,10 \cdot \cos 3,81^\circ = -1,098 \text{ kN}$$

- čvorovi 3, 14 - 22
 - okomito na krovnu plohu:

$$0,183 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 2,06 \text{ kN}$$
-

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W5X = \pm 2,06 \cdot \sin 3,81^\circ = \pm 0,14 \text{ kN}$$

$$W5Y = -2,06 \cdot \cos 3,81^\circ = -2,055 \text{ kN}$$

- čvor 4
 - okomito na krovnu plohu:

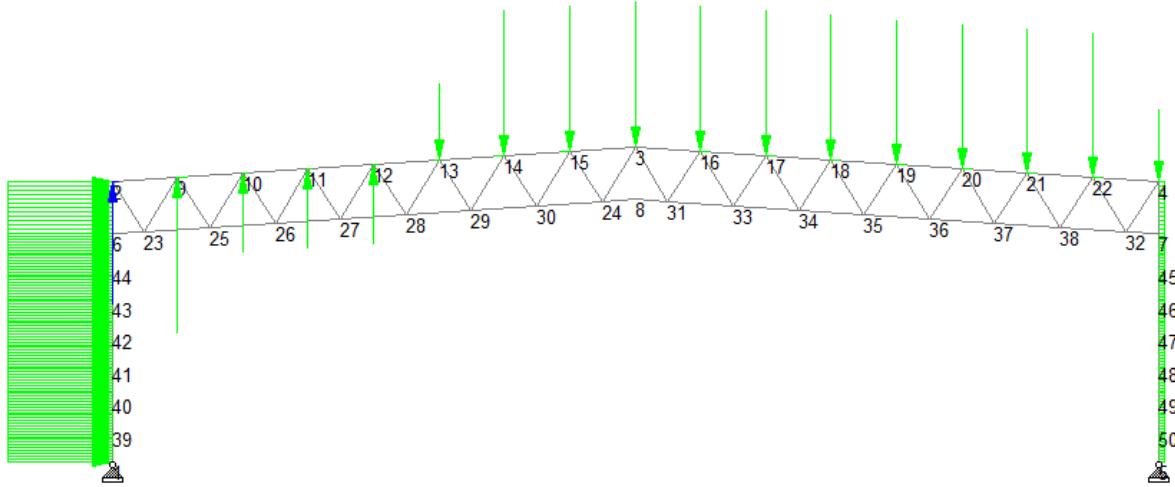
$$0,183 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} \cdot 6 \text{ m} = 1,03 \text{ kN}$$
-

u čvoru 4 djeluje sila:

$$W6X = -1,03 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,07 \text{ kN}$$

$$W6Y = -1,03 \cdot \cos 3,81^\circ = -1,028 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja vjetrom - slučaj II:



7.1.7. OPTEREĆENJE VJETROM - SLUČAJ III

- elementi: 1, 2, 71 - 76

- vjetar: $-0,253 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = -0,76 \text{ kN/m}$

na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje: $w_{1,k} = -0,76 \text{ kN/m}$

$$w_{1x} = -0,76 \text{ kN/m}$$

- elementi: 5, 6, 77 - 82

- vjetar: $-0,253 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = -0,76 \text{ kN/m}$

na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje: $w_{2,k} = -0,76 \text{ kN/m}$

$$w_{2x} = 0,76 \text{ kN/m}$$

- čvor 2

- okomito na krovnu plohu:

$$-0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} \cdot 6 \text{ m} = -1,24 \text{ kN}$$

u čvoru 2 djeluje sila:

$$W_{1X} = -1,24 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,08 \text{ kN}$$

$$W_{1Y} = 1,24 \cdot \cos 3,81^\circ = 1,237 \text{ kN}$$

- čvor 4
- okomito na krovnu plohu:

$$-0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} \cdot 6 \text{ m} = -1,24 \text{ kN}$$

u čvoru 4 djeluje sila:

$$W2X = 1,24 \cdot \sin 3,81^\circ = 0,08 \text{ kN}$$

$$W2Y = 1,24 \cdot \cos 3,81^\circ = 1,237 \text{ kN}$$

- čvorovi 3, 9 - 15
- okomito na krovnu plohu:

$$-0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -2,49 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W3X = -2,49 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,17 \text{ kN}$$

$$W3Y = 2,46 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,48 \text{ kN}$$

- čvorovi 16 - 22
- okomito na krovnu plohu:

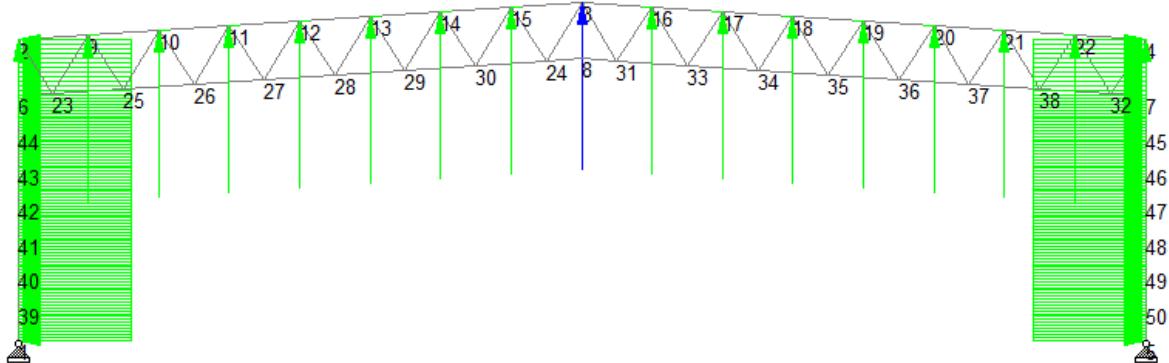
$$-0,221 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -2,49 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W4X = 2,49 \cdot \sin 3,81^\circ = 0,17 \text{ kN}$$

$$W4Y = 2,46 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,48 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja vjetrom - slučaj III:



7.1.8. OPTEREĆENJE VJETROM - SLUČAJ IV

- elementi: 1, 2, 71 - 76

- vjetar: $-0,453 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = -1,36 \text{ kN/m}$

na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje: $w_{1,k} = -1,36 \text{ kN/m}$
 $w_{1x} = -1,36 \text{ kN/m}$

- elementi: 5, 6, 77 - 82

- vjetar: $-0,453 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 \cdot 6,0 \text{ m} = -1,36 \text{ kN/m}$

na svaki element djeluje kontinuirano opterećenje: $w_{2,k} = -1,36 \text{ kN/m}$
 $w_{2x} = 1,36 \text{ kN/m}$

- čvor 2

- okomito na krovnu plohu:

$$-0,421 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} \cdot 6 \text{ m} = -2,37 \text{ kN}$$

u čvoru 2 djeluje sila:

$$W_{1X} = -2,37 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,16 \text{ kN}$$

$$W_{1Y} = 2,37 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,365 \text{ kN}$$

- čvor 4

- okomito na krovnu plohu:

$$-0,421 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{1,875 \text{ m}}{2} \cdot 6 \text{ m} = -2,37 \text{ kN}$$

u čvoru 4 djeluje sila:

$$W_{2X} = 2,37 \cdot \sin 3,81^\circ = 0,16 \text{ kN}$$

$$W_{2Y} = 2,37 \cdot \cos 3,81^\circ = 2,365 \text{ kN}$$

- čvorovi 3, 9 - 15

- okomito na krovnu plohu:

$$-0,421 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -4,74 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W_{3X} = -4,74 \cdot \sin 3,81^\circ = -0,31 \text{ kN}$$

$$W_{3Y} = 4,74 \cdot \cos 3,81^\circ = 4,73 \text{ kN}$$

- čvorovi 16 - 22

- okomito na krovnu plohu:

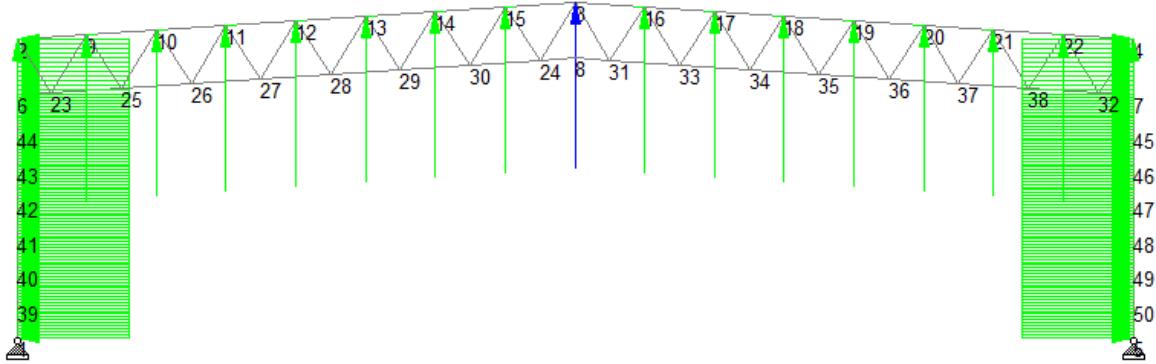
$$-0,421 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,875 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = -4,74 \text{ kN}$$

u svakom čvoru djeluje sila:

$$W_{4X} = 4,74 \cdot \sin 3,81^\circ = 0,31 \text{ kN}$$

$$W_{4Y} = 4,74 \cdot \cos 3,81^\circ = 4,73 \text{ kN}$$

Dijagram opterećenja vjetrom - slučaj IV:



7.1.9. IMPERFEKCIJE OKVIRA

$$\phi = k_c \cdot k_s \cdot \phi_0$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

$$k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_c}} = \sqrt{0,5 + \frac{1}{2}} = 1,0$$

$$k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_s}} = \sqrt{0,2 + \frac{1}{1}} = 1,095 > 1,0 \quad \rightarrow \quad k_s = 1,0$$

$$\phi = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{200} = \frac{1}{200}$$

Ekvivalentna horizontalna sila: $\Delta H = \phi \cdot V$

$$\Delta H_1 = \frac{1}{200} \cdot [15 \cdot 1,91 + 2 \cdot 8,54 + 67,43] = 0,57 \text{ kN} \quad (\text{stalno opterećenje})$$

$$\Delta H_2 = \frac{1}{200} \cdot [15 \cdot 5,63 + 2 \cdot 2,82] = 0,45 \text{ kN} \quad (\text{instalacije})$$

$$\Delta H_3 = \frac{1}{200} \cdot [15 \cdot 7,92 + 2 \cdot 3,96] = 0,63 \text{ kN} \quad (\text{snijeg - slučaj I})$$

7.2. KLASIFIKACIJA OKVIRA

KRITERIJ PODUPRT - NEPODUPRT

Okvir je očito nepoduprt. Nije predviđen vezni sustav koji bi reducirao horizontalni pomak.

KRITERIJ POMIČAN - NEPOMIČAN OKVIR

$$\text{Kriterij: } \frac{V_d}{V_{cr}} = \frac{\delta}{h} \cdot \frac{V_d}{\sum H_d} \leq 0,1$$

Za mjerodavnu kombinaciju opterećenja C12 (vlatita težina + stalno djelovanje + instalacije + snijeg 1 + vjetar 2) dobivene su slijedeće vrijednosti:

$$V_d = 488,518 \text{ kN}$$

$$\Sigma H_d = 8,217 \text{ kN}$$

$$\delta = \delta_1 \cdot \Sigma H_d = 0,294 \text{ mm/kN} \cdot 8,217 \text{ kN} = 2,42 \text{ mm} = 0,00242 \text{ m}$$

$$\frac{V_d}{V_{cr}} = \frac{0,00238}{8,0} \cdot \frac{488,518}{8,217} = 0,018 < 0,1$$

Okvir je nepomičan. Dozvoljena je elastična analiza 1. reda.

7.3. PRORAČUN UNUTARNJIH SILA, MOMENATA SAVIJANJA, PROGIBA I POMAKA - STAAD.PRO 2007

7.3.1. Ulagana datoteka

STAAD PLANE

START JOB INFORMATION

ENGINEER DATE 25-Mar-13

END JOB INFORMATION

INPUT WIDTH 79

UNIT METER KN

JOINT COORDINATES

1 0 0 0; 2 0 8 0; 3 15 9 0; 4 30 8 0; 5 30 0 0; 6 0 6.5 0; 7 30 6.5 0;

8 15 7.5 0; 9 1.875 8.125 0; 10 3.75 8.25 0; 11 5.625 8.375 0; 12 7.5 8.5 0;

13 9.375 8.625 0; 14 11.25 8.75 0; 15 13.125 8.875 0; 16 16.875 8.875 0;

17 18.75 8.75 0; 18 20.625 8.625 0; 19 22.5 8.5 0; 20 24.375 8.375 0;

21 26.25 8.25 0; 22 28.125 8.125 0; 23 0.9375 6.5625 0; 24 14.0625 7.4375 0;

25 2.8125 6.6875 0; 26 4.6875 6.8125 0; 27 6.5625 6.9375 0; 28 8.4375 7.0625 0;
29 10.3125 7.1875 0; 30 12.1875 7.3125 0; 31 15.9375 7.4375 0;
32 29.0625 6.5625 0; 33 17.8125 7.3125 0; 34 19.6875 7.1875 0;
35 21.5625 7.0625 0; 36 23.4375 6.9375 0; 37 25.3125 6.8125 0;
38 27.1875 6.6875 0; 39 0 0.928571 0; 40 0 1.85714 0; 41 0 2.78571 0;
42 0 3.71429 0; 43 0 4.64286 0; 44 0 5.57143 0; 45 30 5.57143 0;
46 30 4.64286 0; 47 30 3.71429 0; 48 30 2.78571 0; 49 30 1.85714 0;
50 30 0.928571 0;

MEMBER INCIDENCES

1 1 39; 2 6 2; 3 2 9; 4 3 16; 5 4 7; 6 7 45; 7 6 23; 8 8 31; 9 9 10; 10 10 11;
11 11 12; 12 12 13; 13 13 14; 14 14 15; 15 15 3; 16 16 17; 17 17 18; 18 18 19;
19 19 20; 20 20 21; 21 21 22; 22 22 4; 23 23 25; 24 24 8; 25 25 26; 26 26 27;
27 27 28; 28 28 29; 29 29 30; 30 30 24; 31 2 23; 32 23 9; 33 9 25; 34 25 10;
35 10 26; 36 26 11; 37 11 27; 38 27 12; 39 12 28; 40 28 13; 41 13 29; 42 29 14;
43 14 30; 44 30 15; 45 15 24; 46 24 3; 47 31 33; 48 32 7; 49 33 34; 50 34 35;
51 35 36; 52 36 37; 53 37 38; 54 38 32; 55 3 31; 56 31 16; 57 16 33; 58 33 17;
59 17 34; 60 34 18; 61 18 35; 62 35 19; 63 19 36; 64 36 20; 65 20 37; 66 37 21;
67 21 38; 68 38 22; 69 22 32; 70 32 4; 71 39 40; 72 40 41; 73 41 42; 74 42 43;
75 43 44; 76 44 6; 77 45 46; 78 46 47; 79 47 48; 80 48 49; 81 49 50; 82 50 5;

DEFINE MATERIAL START

ISOTROPIC STEEL

E 2.05e+008

POISSON 0.3

DENSITY 76.8195

ALPHA 1.2e-005

DAMP 0.03

END DEFINE MATERIAL

MEMBER PROPERTY EUROPEAN

1 2 5 6 71 TO 82 TABLE ST HE700A

3 4 7 TO 30 47 TO 54 TABLE ST TUB2002008

31 TO 46 55 TO 70 TABLE ST TUB80805

CONSTANTS

MATERIAL STEEL ALL

SUPPORTS

1 5 PINNED

MEMBER TRUSS

3 4 7 TO 70

LOAD 1 LOADTYPE Gravity TITLE VT

SELFWEIGHT Y -1

LOAD 2 LOADTYPE Dead TITLE STALNO

JOINT LOAD

3 9 TO 22 FY -1.91

2 4 FY -8.54

2 FX 0.57

LOAD 3 LOADTYPE Dead TITLE INSTALACIJE

JOINT LOAD

3 9 TO 22 FY -5.63

2 4 FY -2.82

2 FX 0.45

LOAD 4 LOADTYPE Snow TITLE SNIJEG 1

JOINT LOAD

3 9 TO 22 FY -7.92

2 4 FY -3.96

2 FX 0.63

LOAD 5 LOADTYPE Snow TITLE SNIJEG 2

JOINT LOAD

2 16 TO 22 FY -3.96

4 FY -1.98

3 FY -5.94

9 TO 15 FY -7.92

LOAD 6 LOADTYPE Wind TITLE VJETAR 1

MEMBER LOAD

1 2 71 TO 76 UNI GX 0.68

5 6 77 TO 82 UNI GX 0.29

JOINT LOAD

2 FX -0.16 FY 2.42

9 FX -0.24 FY 3.57

10 TO 12 FX -0.17 FY 2.48

13 FX -0.08 FY 1.237

14 15 FX -0.05 FY 0.708

3 FY 0.71

16 TO 22 FX 0.05 FY 0.708

4 FX 0.02 FY 0.349

LOAD 7 LOADTYPE Wind TITLE VJETAR 2

MEMBER LOAD

1 2 71 TO 76 UNI GX 1.04

5 6 77 TO 82 UNI GX -0.07

JOINT LOAD

2 FX -0.12 FY 1.756

9 FX -0.15 FY 2.225

10 TO 12 FX -0.08 FY 1.137

13 FX 0.07 FY -1.098

14 15 FX 0.14 FY -2.055

3 FY -2.06

16 TO 22 FX -0.14 FY -2.055

4 FX -0.07 FY -1.028

LOAD 8 LOADTYPE Wind TITLE VJETAR 3

MEMBER LOAD

1 2 71 TO 76 UNI GX -0.76

5 6 77 TO 82 UNI GX 0.76

JOINT LOAD

2 FX -0.08 FY 1.237

4 FX 0.08 FY 1.237

9 TO 15 FX -0.17 FY 2.48

3 FY 2.49

16 TO 22 FX 0.17 FY 2.48

LOAD 9 LOADTYPE Wind TITLE VJETAR 4

MEMBER LOAD

1 2 71 TO 76 UNI GX -1.36

5 6 77 TO 82 UNI GX 1.36

JOINT LOAD

2 FX -0.16 FY 2.365

4 FX 0.16 FY 2.365

9 TO 15 FX -0.31 FY 4.73

3 FY 4.74

16 TO 22 FX 0.31 FY 4.73

7.3.2. Kombinacije djelovanja - STAAD combination load cases

Comb.	Combination L/C Name	Primary	Primary L/C Name	Factor
10	GSN1	1 2 3 4	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1	1.35 1.35 1.35 1.50
11	GSN2	1 2 3 5	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2	1.35 1.35 1.35 1.50
12	GSN3	1 2 3 6	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 1	1.35 1.35 1.35 1.50
13	GSN4	1 2 3 7	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 2	1.35 1.35 1.35 1.50
14	GSN5	1 2 3 8	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 3	1.35 1.35 1.35 1.50
15	GSN6	1 2 3 9	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 4	1.35 1.35 1.35 1.50
16	GSN7	1 2 6	VT STALNO VJETAR 1	1.00 1.00 1.50
17	GSN8	1 2 7	VT STALNO VJETAR 2	1.00 1.00 1.50
18	GSN9	1 2 8	VT STALNO VJETAR 3	1.00 1.00 1.50
19	GSN10	1 2 9	VT STALNO VJETAR 4	1.00 1.00 1.50
20	GSN11	1 2 3 4 6	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 1	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
21	GSN12	1 2 3 4 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 2	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
22	GSN13	1 2 3 4 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 3	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
23	GSN14	1 2 3 4 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 4	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
24	GSN15	1 2	VT STALNO	1.35 1.35

Comb.	Combination L/C Name	Primary	Primary L/C Name	Factor
		3 5 6	INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 1	1.35 1.50 0.90
25	GSN16	1 2 3 5 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 2	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
26	GSN17	1 2 3 5 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 3	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
27	GSN18	1 2 3 5 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 4	1.35 1.35 1.35 1.50 0.90
28	GSN19	1 2 3 4 6	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 1	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
29	GSN20	1 2 3 4 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 2	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
30	GSN21	1 2 3 4 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 3	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
31	GSN22	1 2 3 4 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 4	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
32	GSN23	1 2 3 5 6	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 1	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
33	GSN24	1 2 3 5 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 2	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
34	GSN25	1 2 3 5 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 3	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50
35	GSN26	1 2 3 5 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 4	1.35 1.35 1.35 0.75 1.50

Comb.	Combination L/C Name	Primary	Primary L/C Name	Factor
36	GSU1	1 2 3 4	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1	1.00 1.00 1.00 1.00
37	GSU2	1 2 3 5	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2	1.00 1.00 1.00 1.00
38	GSU3	1 2 3 6	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 1	1.00 1.00 1.00 1.00
39	GSU4	1 2 3 7	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 2	1.00 1.00 1.00 1.00
40	GSU5	1 2 3 8	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 3	1.00 1.00 1.00 1.00
41	GSU6	1 2 3 9	VT STALNO INSTALACIJE VJETAR 4	1.00 1.00 1.00 1.00
42	GSU7	1 2 6	VT STALNO VJETAR 1	1.00 1.00 1.00
43	GSU8	1 2 7	VT STALNO VJETAR 2	1.00 1.00 1.00
44	GSU9	1 2 8	VT STALNO VJETAR 3	1.00 1.00 1.00
45	GSU10	1 2 9	VT STALNO VJETAR 4	1.00 1.00 1.00
46	GSU11	1 2 3 4 6	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 1	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
47	GSU12	1 2 3 4 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 2	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
48	GSU13	1 2 3 4 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 3	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
49	GSU14	1 2 3 4 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 4	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
50	GSU15	1 2	VT STALNO	1.00 1.00

Comb.	Combination L/C Name	Primary	Primary L/C Name	Factor
		3 5 6	INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 1	1.00 1.00 0.60
51	GSU16	1 2 3 5 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 2	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
52	GSU17	1 2 3 5 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 3	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
53	GSU18	1 2 3 5 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 4	1.00 1.00 1.00 1.00 0.60
54	GSU19	1 2 3 4 6	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 1	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
55	GSU20	1 2 3 4 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 2	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
56	GSU21	1 2 3 4 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 3	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
57	GSU22	1 2 3 4 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 1 VJETAR 4	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
58	GSU23	1 2 3 5 6	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 1	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
59	GSU24	1 2 3 5 7	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 2	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
60	GSU25	1 2 3 5 8	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 3	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00
61	GSU26	1 2 3 5 9	VT STALNO INSTALACIJE SNIJEG 2 VJETAR 4	1.00 1.00 1.00 0.50 1.00

7.3.3. Rezultati statičkog proračuna

Na temelju provedenog statičkog proračuna ustanovljeno je da je za dimenzioniranje elemenata okvirnog nosača mjerodavna kombinacija opterećenja GSN12 u kojoj su istovremeno ekstremne vrijednosti unutarnjih sila u prečkama i ispuni rešetke te u stupu okvira. Iz tog razloga će se za dimenzioniranje promatrati samo gore navedena kombinacija opterećenja.

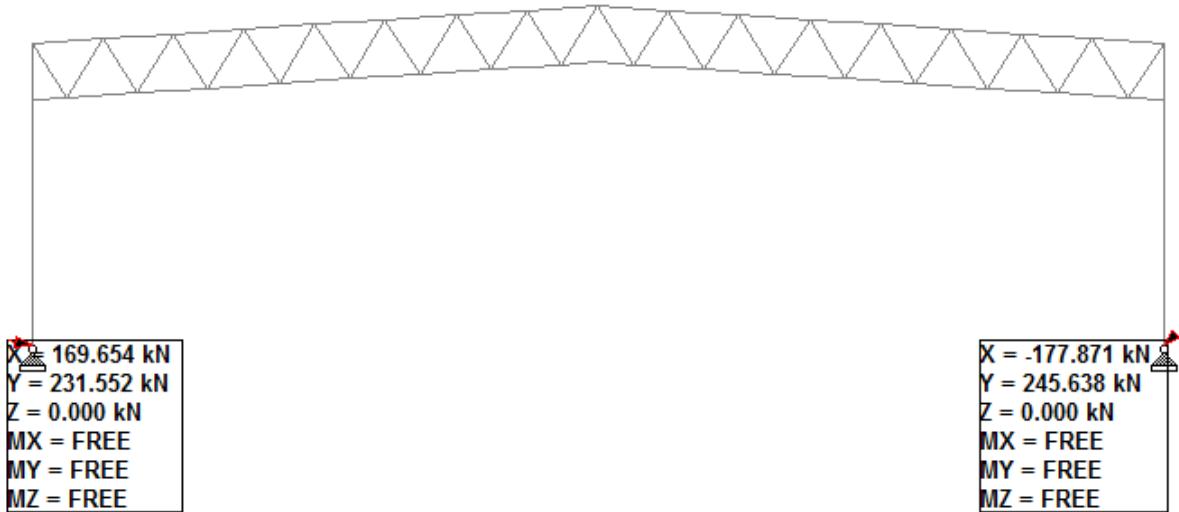
Vrijednosti unutarnjih sila na krajevima elemenata:

Beam	Node	L/C	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)
1	1	21:GSN12	231.552	-169.654	-0.000
	39	21:GSN12	-229.048	170.523	-157.939
2	6	21:GSN12	152.076	749.050	1.12E 3
	2	21:GSN12	-148.031	-747.646	-0.000
3	2	21:GSN12	-635.987	0.594	0.000
	9	21:GSN12	636.066	0.594	0.000
4	3	21:GSN12	175.103	0.594	0.000
	16	21:GSN12	-175.182	0.594	0.000
5	4	21:GSN12	160.437	-771.613	-0.000
	7	21:GSN12	-164.482	771.708	-1.16E 3
6	7	21:GSN12	228.112	178.280	1.16E 3
	45	21:GSN12	-230.615	-178.222	-991.972
7	6	21:GSN12	926.860	0.297	0.000
	23	21:GSN12	-926.821	0.297	0.000
8	8	21:GSN12	4.455	0.297	0.000
	31	21:GSN12	-4.495	0.297	0.000
9	9	21:GSN12	-428.937	0.594	0.000
	10	21:GSN12	429.017	0.594	0.000
10	10	21:GSN12	-251.224	0.594	0.000
	11	21:GSN12	251.303	0.594	0.000
11	11	21:GSN12	-103.526	0.594	0.000
	12	21:GSN12	103.605	0.594	0.000
12	12	21:GSN12	14.156	0.594	0.000
	13	21:GSN12	-14.077	0.594	0.000
13	13	21:GSN12	100.693	0.594	0.000
	14	21:GSN12	-100.614	0.594	0.000
14	14	21:GSN12	154.205	0.594	0.000
	15	21:GSN12	-154.125	0.594	0.000
15	15	21:GSN12	174.085	0.594	0.000
	3	21:GSN12	-174.006	0.594	0.000
16	16	21:GSN12	157.417	0.594	0.000
	17	21:GSN12	-157.496	0.594	0.000
17	17	21:GSN12	106.099	0.594	0.000
	18	21:GSN12	-106.179	0.594	0.000
18	18	21:GSN12	21.151	0.594	0.000
	19	21:GSN12	-21.230	0.594	0.000
19	19	21:GSN12	-97.428	0.594	0.000
	20	21:GSN12	97.348	0.594	0.000
20	20	21:GSN12	-249.637	0.594	0.000
	21	21:GSN12	249.558	0.594	0.000
21	21	21:GSN12	-435.478	0.594	0.000
	22	21:GSN12	435.399	0.594	0.000
22	22	21:GSN12	-654.949	0.594	0.000
	4	21:GSN12	654.870	0.594	0.000
23	23	21:GSN12	705.490	0.594	0.000
	25	21:GSN12	-705.411	0.594	0.000
24	24	21:GSN12	4.495	0.297	0.000
	8	21:GSN12	-4.455	0.297	0.000
25	25	21:GSN12	512.697	0.594	0.000
	26	21:GSN12	-512.618	0.594	0.000
26	26	21:GSN12	349.919	0.594	0.000
	27	21:GSN12	-349.840	0.594	0.000
27	27	21:GSN12	217.157	0.594	0.000
	28	21:GSN12	-217.078	0.594	0.000
28	28	21:GSN12	114.410	0.594	0.000
	29	21:GSN12	-114.331	0.594	0.000

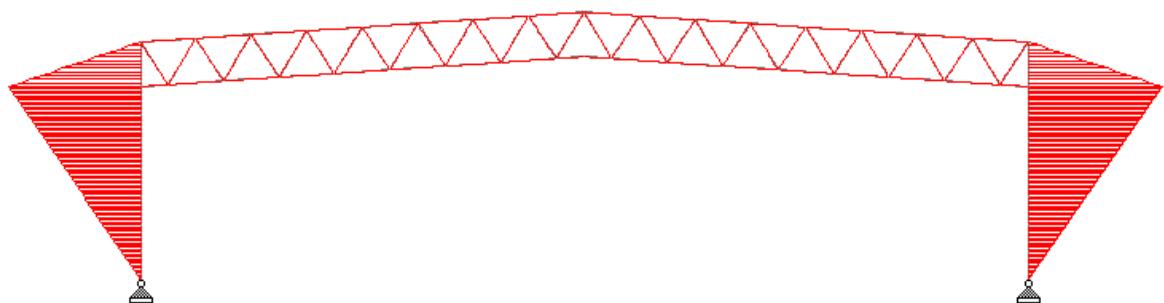
Beam	Node	L/C	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)
29	29	21:GSN12	44.209	0.594	0.000
	30	21:GSN12	-44.130	0.594	0.000
30	30	21:GSN12	7.640	0.594	0.000
	24	21:GSN12	-7.561	0.594	0.000
31	2	21:GSN12	-202.968	0.072	0.000
	23	21:GSN12	202.746	0.072	0.000
32	23	21:GSN12	214.088	0.072	0.000
	9	21:GSN12	-213.847	0.072	0.000
33	9	21:GSN12	-177.022	0.072	0.000
	25	21:GSN12	176.800	0.072	0.000
34	25	21:GSN12	186.178	0.072	0.000
	10	21:GSN12	-185.936	0.072	0.000
35	10	21:GSN12	-149.610	0.072	0.000
	26	21:GSN12	149.387	0.072	0.000
36	26	21:GSN12	157.073	0.072	0.000
	11	21:GSN12	-156.831	0.072	0.000
37	11	21:GSN12	-122.197	0.072	0.000
	27	21:GSN12	121.975	0.072	0.000
38	27	21:GSN12	127.967	0.072	0.000
	12	21:GSN12	-127.726	0.072	0.000
39	12	21:GSN12	-94.785	0.072	0.000
	28	21:GSN12	94.563	0.072	0.000
40	28	21:GSN12	98.862	0.072	0.000
	13	21:GSN12	-98.621	0.072	0.000
41	13	21:GSN12	-65.061	0.072	0.000
	29	21:GSN12	64.839	0.072	0.000
42	29	21:GSN12	67.303	0.072	0.000
	14	21:GSN12	-67.061	0.072	0.000
43	14	21:GSN12	-34.347	0.072	0.000
	30	21:GSN12	34.125	0.072	0.000
44	30	21:GSN12	34.692	0.072	0.000
	15	21:GSN12	-34.450	0.072	0.000
45	15	21:GSN12	-3.632	0.072	0.000
	24	21:GSN12	3.410	0.072	0.000
46	24	21:GSN12	2.443	0.072	0.000
	3	21:GSN12	-2.201	0.072	0.000
47	31	21:GSN12	5.367	0.594	0.000
	33	21:GSN12	-5.446	0.594	0.000
48	32	21:GSN12	952.077	0.297	0.000
	7	21:GSN12	-952.116	0.297	0.000
49	33	21:GSN12	39.742	0.594	0.000
	34	21:GSN12	-39.821	0.594	0.000
50	34	21:GSN12	107.748	0.594	0.000
	35	21:GSN12	-107.828	0.594	0.000
51	35	21:GSN12	209.386	0.594	0.000
	36	21:GSN12	-209.465	0.594	0.000
52	36	21:GSN12	344.654	0.594	0.000
	37	21:GSN12	-344.733	0.594	0.000
53	37	21:GSN12	513.553	0.594	0.000
	38	21:GSN12	-513.632	0.594	0.000
54	38	21:GSN12	716.082	0.594	0.000
	32	21:GSN12	-716.162	0.594	0.000
55	3	21:GSN12	0.074	0.072	0.000
	31	21:GSN12	-0.315	0.072	0.000
56	31	21:GSN12	-1.406	0.072	0.000
	16	21:GSN12	1.629	0.072	0.000
57	16	21:GSN12	32.323	0.072	0.000

Beam	Node	L/C	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)
	33	21:GSN12	-32.564	0.072	0.000
58	33	21:GSN12	-32.121	0.072	0.000
	17	21:GSN12	32.343	0.072	0.000
59	17	21:GSN12	64.934	0.072	0.000
	34	21:GSN12	-65.175	0.072	0.000
60	34	21:GSN12	-62.835	0.072	0.000
	18	21:GSN12	63.057	0.072	0.000
61	18	21:GSN12	97.545	0.072	0.000
	35	21:GSN12	-97.786	0.072	0.000
62	35	21:GSN12	-93.549	0.072	0.000
	19	21:GSN12	93.771	0.072	0.000
63	19	21:GSN12	130.156	0.072	0.000
	36	21:GSN12	-130.397	0.072	0.000
64	36	21:GSN12	-124.263	0.072	0.000
	20	21:GSN12	124.485	0.072	0.000
65	20	21:GSN12	162.767	0.072	0.000
	37	21:GSN12	-163.008	0.072	0.000
66	37	21:GSN12	-154.978	0.072	0.000
	21	21:GSN12	155.200	0.072	0.000
67	21	21:GSN12	195.378	0.072	0.000
	38	21:GSN12	-195.619	0.072	0.000
68	38	21:GSN12	-185.692	0.072	0.000
	22	21:GSN12	185.914	0.072	0.000
69	22	21:GSN12	227.988	0.072	0.000
	32	21:GSN12	-228.230	0.072	0.000
70	32	21:GSN12	-216.066	0.072	0.000
	4	21:GSN12	216.288	0.072	0.000
71	39	21:GSN12	229.048	-170.523	157.939
	40	21:GSN12	-226.545	171.392	-316.685
72	40	21:GSN12	226.545	-171.392	316.685
	41	21:GSN12	-224.041	172.261	-476.238
73	41	21:GSN12	224.041	-172.261	476.238
	42	21:GSN12	-221.537	173.130	-636.599
74	42	21:GSN12	221.537	-173.130	636.599
	43	21:GSN12	-219.033	173.999	-797.767
75	43	21:GSN12	219.033	-173.999	797.767
	44	21:GSN12	-216.530	174.869	-959.741
76	44	21:GSN12	216.530	-174.869	959.741
	6	21:GSN12	-214.026	175.738	-1.12E 3
77	45	21:GSN12	230.615	178.222	991.972
	46	21:GSN12	-233.119	-178.163	-826.508
78	46	21:GSN12	233.119	178.163	826.508
	47	21:GSN12	-235.623	-178.105	-661.098
79	47	21:GSN12	235.623	178.105	661.098
	48	21:GSN12	-238.127	-178.046	-495.741
80	48	21:GSN12	238.127	178.046	495.741
	49	21:GSN12	-240.631	-177.988	-330.439
81	49	21:GSN12	240.631	177.988	330.439
	50	21:GSN12	-243.134	-177.929	-165.193
82	50	21:GSN12	243.134	177.929	165.193
	5	21:GSN12	-245.638	-177.871	0.000

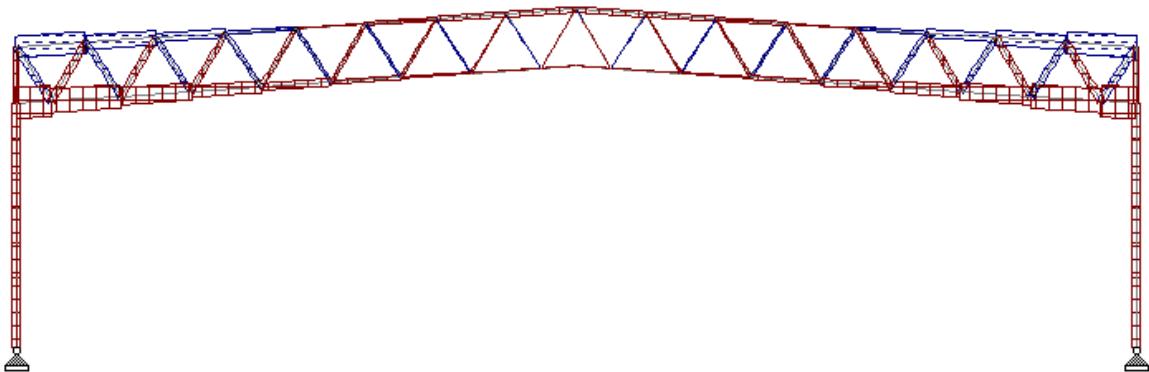
Reakcije glavnog okvira:



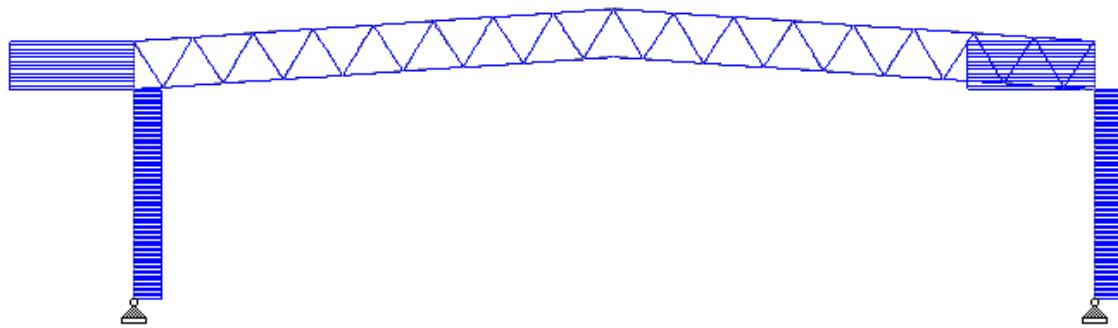
Dijagram momenata glavnog okvira:



Dijagram uzdužnih sila glavnog okvira:



Dijagram poprečnih sila glavnog okvira:



7.4. DIMENZIONIRANJE

7.4.1. GORNJI POJAS PREČKE OKVIRA

Najveće vrijednosti uzdužnih sila:

Element br. 4 175,18 kN (tlak)

Element br. 22 654,95 kN (vlak)

Geometrijske karakteristike profila 200 x 200 x 8,0:

Profil	G [kg/m]	A [cm ²]	Statičke veličine						
			I [cm ⁴]	W [cm ³]	W _{pl} [cm ³]	i [cm]	I _t [cm ⁴]	W _t [cm ³]	A _L [m ² /m]
kvadratni 200x200x10,0	46,9	59,8	3622	362	426	7,78	5792	590	0,773

Geometrijske karakteristike presjeka:

Odabrani profil 200 x 200 x 8,0

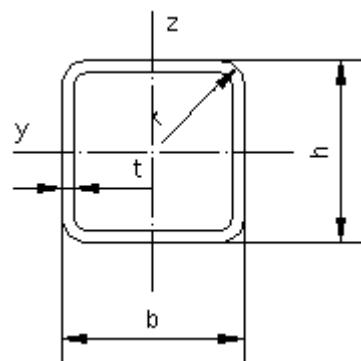
Tip poprečnog presjeka toplodogotovljeni

Visina presjeka h = 200 mm

Širina pojasnice b = 200 mm

Debljina hrpta / pojasnice t = 8,0 mm

Radius r = 8,0 mm



7.4.1.1. TLAČNI ELEMENT:

1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

a) HRBAT

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t} = \frac{h - 3 \cdot t}{t} = \frac{200 - 3 \cdot 8}{8} = 22$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$

$22 < 33$ uvjet zadovoljen

Hrbat - KLASA 1

b) POJASNICA

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t} = \frac{h - 3 \cdot t}{t} = \frac{200 - 3 \cdot 8}{8} = 22$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$

$22 < 33$ uvjet zadovoljen

Pojasnica - KLASA 1

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu - izloženog tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{59,8 \cdot 23,5}{1,0} = 1405,30$$

$N_{c,Rd} = 1405,3 \text{ kN}$

Uvjet nosivosti:

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

$175,18 \text{ kN} < 1405,3 \text{ kN}$

Uvjet je zadovoljen!

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3622}{187,92^2} = 21257,95 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 21257,95 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{59,8 \cdot 23,5}{21257,95}} = 0,26 \quad - \text{svedena vitkost}$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kvadratični profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,26 - 0,2) + 0,26^2] = 0,54$$

$$\Phi = 0,54$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,54 + \sqrt{0,54^2 - 0,26^2}} = 0,987$$

$$\chi = 0,987$$

$$N_{b.Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,987 \cdot \frac{59,8 \cdot 23,5}{1,0} = 1378,60 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd} = 1378,6 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd}$$

$$175,18 \text{ kN} < 1378,6 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

7.4.1.2. VLAČNI ELEMENT:

1. Otpornost elementa - tečenje brutto poprečnog presjeka:

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{59,8 \cdot 23,5}{1,0} = 1405,30 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} = 1405,3 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{pl.Rd}$$

$$654,95 \text{ kN} < 1405,3 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

7.4.2. DONJI POJAS PREČKE OKVIRA

Najveće vrijednosti uzdužnih sila:

Element br. 48 952,12 kN (tlak, $L_i = 0,94\text{m}$)

Element br. 54 716,16 kN (tlak, $L_i = 1,88\text{m}$)

Element br. 7 100,32 kN (vlak, GSN10)

Zbog različitih duljina izvijanja provest će se provjera na oba tlačna elementa (br. 48 i 54).

7.4.2.1. TLAČNI ELEMENT BR. 48:

Opterećenje: $N_{Ed} = 952,12 \text{ kN}$

1. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3622}{93,96^2} = 85031,82 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 85031,82 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{59,8 \cdot 23,5}{85031,82}} = 0,13 \quad - \text{ svedena vitkost}$$

$$\bar{\lambda} = 0,13$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kvadratični profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,13 - 0,2) + 0,13^2] = 0,51$$

$$\Phi = 0,51$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,51 + \sqrt{0,51^2 - 0,13^2}} = 0,997 < 1,0$$

$$\chi = 0,997$$

$$N_{b.Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,997 \cdot \frac{59,8 \cdot 23,5}{1,0} = 1401,08 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd} = 1401,08 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd}$$

$$952,12 \text{ kN} < 1401,08 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

7.4.2.2. TLAČNI ELEMENT BR. 54:

Opterećenje: $N_{Ed} = 716,16 \text{ kN}$

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3622}{187,92^2} = 21257,95 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 21257,95 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{59,8 \cdot 23,5}{21257,95}} = 0,26 \quad - \text{ svedena vitkost}$$

$$\bar{\lambda} = 0,26$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kvadratični profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,26 - 0,2) + 0,26^2] = 0,54$$

$$\Phi = 0,54$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,54 + \sqrt{0,54^2 - 0,26^2}} = 0,987 < 1,0$$

$$\chi = 0,987$$

$$N_{b.Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,987 \cdot \frac{59,8 \cdot 23,5}{1,0} = 1378,60 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd} = 1378,60 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd}$$

$$716,16 \text{ kN} < 1378,60 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

7.4.3. ELEMENTI ISPUNE PREČKE OKVIRA

Najveće vrijednosti uzdužnih sila:

Element br. 69 228,23 kN (tlak)

Element br. 70 216,29 kN (vlak)

Geometrijske karakteristike profila 80 x 80 x 5,0:

Profil	G [kg/m]	A [cm ²]	Statičke veličine						
			I [cm ⁴]	W [cm ³]	W _{pl} [cm ³]	i [cm]	I _t [cm ⁴]	W _t [cm ³]	A _L [m ² /m]
kvadratni 100x100x5,0	11,6	14,8	138	34,5	41,4	3,06	215	56,3	0,311

Geometrijske karakteristike presjeka:

Odabrani profil 80 x 80 x 5,0

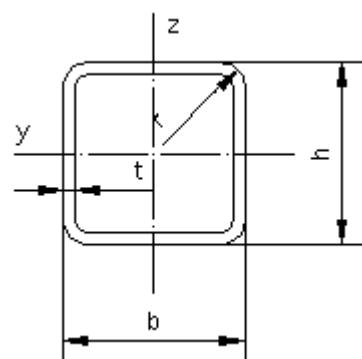
Tip poprečnog presjeka toplodogotovljeni

Visina presjeka h = 80 mm

Širina pojasnice b = 80 mm

Debljina hrpta / pojasnice t = 5,0 mm

Radius r = 5,0 mm



1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

a) HRBAT

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t} = \frac{h - 3 \cdot t}{t} = \frac{80 - 3 \cdot 5}{5} = 13$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$

$13 < 33$ uvjet zadovoljen

Hrbat - KLASA 1

b) POJASNICA

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t} = \frac{h - 3 \cdot t}{t} = \frac{80 - 3 \cdot 5}{5} = 13$$

Uvjet za klasu 1: $\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33$

$13 < 33$ uvjet zadovoljen

Pojasnica - KLASA 1

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu - izloženog tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,8 \cdot 23,5}{1,0} = 347,8 \text{ kN}$$

$N_{c,Rd} = 347,8 \text{ kN}$

Uvjet nosivosti:

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

$228,23 \text{ kN} < 347,8 \text{ kN}$

Uvjet je zadovoljen!

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 138}{182,22^2} = 861,40 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 861,40 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{14,8 \cdot 23,5}{861,4}} = 0,635 \quad - \text{ svedena vitkost}$$

$$\bar{\lambda} = 0,635$$

Mjerodavna linija izvijanja

kvadratični profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,635 - 0,2) + 0,635^2] = 0,75$$

$$\Phi = 0,75$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,635^2}} = 0,87 < 1,0$$

$$\chi = 0,87$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,87 \cdot \frac{14,8 \cdot 23,5}{1,0} = 302,59 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 302,59 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$228,23 \text{ kN} < 302,59 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

7.4.4. STUP OKVIRA

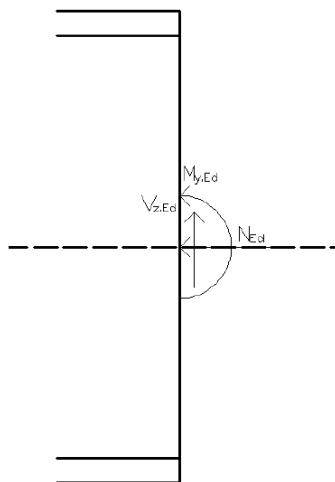
Najveće vrijednosti reznih sila:

Moment: Element br. 5 $M_{y,Ed} = 1157,00 \text{ kNm}$

Uzdužna sila: Element br. 82 $N_{Ed} = 245,64 \text{ kN}$ (tlak)

Poprečna sila: Element br. 5 $V_{z,Ed} = 792,93 \text{ kN}$

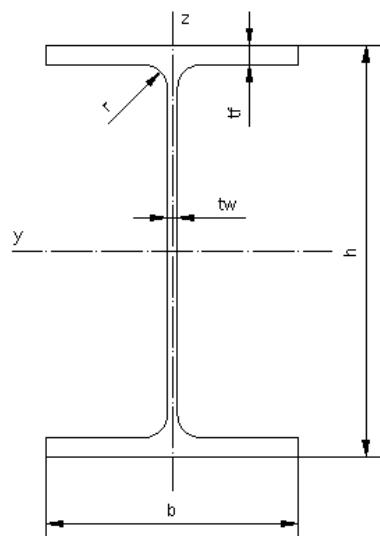
Shema opterećenja profila:



Geometrijske karakteristike profila HEA 700:

Profil	G [kg/m]	A [cm ²]	Dimenzije poprečnog presjeka					Konstante	
			h [mm]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	I _t [cm ⁴]	I _w *10 ⁻³ [cm ⁶]
HEA 700	204	260,5	690	300	14,5	27,0	27	513,9	13350

Profil	Statičke veličine									
	OS y-y					OS z-z				
	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{pl.y} [cm ³]	i _y [cm]	A _{v,z} [cm ²]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{pl.z} [cm ³]	i _z [cm]	A _{v,y} [cm ²]
HEA 700	215300	6241	7032	28,75	117,0	12180	811,9	1257	6,84	168,0



1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

a) HRBAT

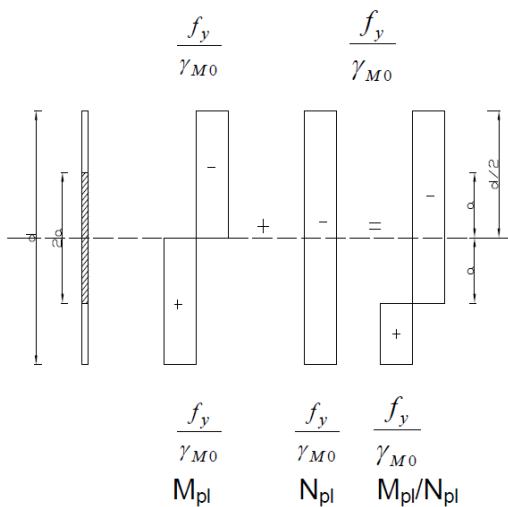
$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{690 - 2 \cdot 27 - 2 \cdot 27}{14,5} = \frac{582}{14,5} = 40,14$$

Uvjet KLASA 1:

$$Za \alpha > 0,5 \quad \frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$$

$$Za \alpha \leq 0,5 \quad \frac{c}{t} \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$$

Proračun α :



$$N_{pl,Rd} = N_{Ed} = \frac{2a \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$a = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_w \cdot f_y} = \frac{245,64 \cdot 1,0}{2 \cdot 1,45 \cdot 23,5} = 3,60$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{58,2} \cdot \left(\frac{58,2}{2} + 3,6 \right) = 0,56$$

$$\alpha = 0,56 > 0,5 \quad \Rightarrow \quad \frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,56 - 1} = 63,06$$

$40,14 < 63,06$ uvjet zadovoljen

Hrbat - KLASA 1

b) POJASNICA

$$\frac{c}{t} = \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{300}{2} - \frac{14,5}{2} - 27}{27} = 4,29$$

Uvjet KLASA 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9,0$$

$4,29 < 9,0$ uvjet zadovoljen

Pojasnica - KLASA 1

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka

2.1. Izloženost tlaku

$$N_{c.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{260,5 \cdot 23,5}{1,0} = 6121,75 \text{ kN}$$

$$N_{c.Rd} = 6121,75 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd}$$

$$245,64 \text{ kN} < 6121,75 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.2. Izloženost savijanju

$$M_{c.Rd} = \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7032 \cdot 23,5}{1,0} = 165252 \text{ kNm}$$

$$M_{c.Rd} = 1652,52 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{c.Rd}$$

$$1157 \text{ kNm} < 1652,52 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.3. Izloženost poprečnoj sili (posmična otpornost)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{690 - 2 \cdot 27}{14,5} = \frac{636}{14,5} = 43,86 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{1}{1,2} = 60$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja na posmik.

$$V_{pl.z.Rd} = A_{v.z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Posmična površina u smjeru osi z:

$$A_{v.z} = A - 2bt_f + (t_w + 2r) \cdot t_f = 260,5 - 2 \cdot 30 \cdot 2,7 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,7 = 117,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{v.z} \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 63,6 \cdot 1,45 = 110,66 \text{ cm}^2$$

$$117,0 \text{ cm}^2 > 110,66 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{v.z} = 117,0 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl.z.Rd} = 117,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1587,42 \text{ kN}$$

$$V_{pl.z.Rd} = 1587,42 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z.Ed} \leq V_{pl.z.Rd}$$

$$792,93 \text{ kN} < 1587,42 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.4. Interakcija M-N-V

2.4.1. Poprečna sila

Uvjeti reduciranja plastične otpornosti savijanja:

$$V_{z.Ed} < 0,5 \cdot V_{pl.z.Rd}$$

$$792,93 < 0,5 \cdot 1587,42 = 793,71$$

$$792,93 \text{ kN} < 793,71 \text{ kN} \rightarrow \text{Nije potrebna redukcija otpornosti na poprečnu silu}$$

$$M_{y.V.Rd} = M_{c.Rd}$$

$$M_{y.V.Rd} = 1652,52 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{y.V.Rd}$$

$$1157 \text{ kNm} < 1652,52 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.4.2. Uzdužna sila

Uvjeti nereduciranja plastične otpornosti savijanja:

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

$$245,64 \leq 0,25 \cdot 6121,75 = 1530,44$$

$$245,64 \text{ kN} < 1530,44 \text{ kN}$$

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

$$245,64 \leq \frac{0,5 \cdot 63,6 \cdot 1,45 \cdot 23,5}{1,0} = 1083,59$$

$$245,64 \text{ kN} < 1083,59 \text{ kN}$$

Nema redukcije plastične otpornosti savijanja.

$$M_{N.y.Rd} = M_{c.Rd}$$

$$M_{N.y.Rd} = 1652,52 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{N.y.Rd}$$

$$1157 \text{ kNm} < 1652,52 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen!

2. Otpornost elementa

3.1. Izloženost tlaku (otpornost tlaka na izvijanje)

Dokaz prema χ (hi)postupku:

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

Mjerodavna linija izvijanja:

$$\frac{h}{b} = \frac{690}{300} = 2,3 > 1,2$$

$$t_f = 27,0 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Koeficijenti imperfekcije:

$$\text{Os } y \rightarrow \text{linija a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

$$\text{Os } z \rightarrow \text{linija b} \rightarrow \alpha = 0,34$$

Os y-y

Kritična uzdužna sila u smjeru osi y:

$$N_{cry} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{iy}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 215300}{800^2} = 69724,13$$

$$N_{cry} = 69724,13 \text{ kN}$$

Torzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cry}}} = \sqrt{\frac{260,5 \cdot 23,5}{69724,13}} = 0,30$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,30$$

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,3 - 0,2) + 0,3^2] = 0,56$$

$$\phi_y = 0,56$$

Redukcijski faktor torzijskog izvijanja:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,3^2}} = 0,97 < 1,0$$

$$\chi_y = 0,97$$

Os z-z

Kritična uzdužna sila u smjeru osi z:

$$N_{crz} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{iz}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{475^2} = 11188,69$$

$$N_{crz} = 11188,69 \text{ kN}$$

Torzijska vitkost:

$$\overline{\lambda_z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cry}}} = \sqrt{\frac{260,5 \cdot 23,5}{11188,69}} = 0,74$$

$$\overline{\lambda_z} = 0,74$$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha(\overline{\lambda_z} - 0,2) + \overline{\lambda_z}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,74 - 0,2) + 0,74^2] = 0,87$$

$$\phi_z = 0,87$$

Redukcijski faktor torzijskog izvijanja:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \overline{\lambda_z}^2}} = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,74^2}} = 0,75 < 1,0$$

$$\chi_z = 0,75$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0.97; 0.75) = 0.75$$

$$N_{b,Rd} = 0,75 \cdot \frac{260,5 \cdot 23,5}{1,0} = 4591,31$$

$$N_{b,Rd} = 4591,31 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$245,64 \text{ kN} < 4591,31 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3.2. Izloženost savijanju

Elastični kritični moment bočnog izvijanja:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot EI_z}}$$

$$E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$$

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

Torzijska konstanta: $I_t = 513,9 \text{ cm}^4$

Konstanta krivljenja: $I_w = 1,335 \cdot 10^7 \text{ cm}^6$

Koeficijent ovisan o opterećenju: $C_1 = 1,348$

Razmak između točaka bočnog pridržanja tlačnog pojasa: $L_{cr} = 450 \text{ cm}$

$$M_{cr} = 1,348 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{450^2} \cdot \sqrt{\frac{1,335 \cdot 10^7}{12180} + \frac{450^2 \cdot 8077 \cdot 513,9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}} = 471259,13 \text{ kNm}$$

Lateralna torzijska vitkost:

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7032 \cdot 23,5}{471259,13}} = 0,59$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = 0,59 > 0,2$$

Redukcijski faktor lateralnog torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}}^2}} \leq 1$$

Mjerodavna linija:

$$\frac{h}{b} = \frac{690}{300} = 2,3 > 2$$

Lateralni koeficijent imperfekcije:

$$\text{Linija b} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha(\overline{\lambda_{LT}} - 0,2) + \overline{\lambda_{LT}}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,74$$

$$\phi_{LT} = 0,74$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,74 + \sqrt{0,74^2 - 0,59^2}} = 0,84$$

$$\chi_{LT} = 0,84$$

Dokaz prema χ (hi)postupku:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,84 \cdot \frac{7032 \cdot 23,5}{1,0} = 138811,68 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 1388,12 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{b.Rd}$$

$$1157 \text{ kN} < 1388,12 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3.3. Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

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

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

$$N_{Rk} = N_{c.Rd} \cdot \gamma_{M0} = A \cdot f_y = N_{c.Rd} = 6121,75 \text{ kN}$$

$$M_{y.Rk} = M_{c.Rd} \cdot \gamma_{M0} = W_{pl,y} \cdot f_y = M_{c.Rd} = 1652,52 \text{ kNm}$$

$$M_{z.Rk} = 0$$

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

$$\psi = 0 \quad \Rightarrow \quad C_{my} = 0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (0,3 - 0,2) \cdot \frac{251,3}{0,97 \cdot 6121,75 / 1,0} \right] \leq 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{251,3}{0,97 \cdot 6121,75 / 1,0} \right]$$

$$k_{yy} = 0,60 \leq 0,62$$

$$k_{yy} = 0,60$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,74 > 0,4 \quad \Rightarrow \quad k_{zy} = 0,6k_{yy} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36$$

$$k_{zy} = 0,36$$

$$\frac{245,64}{0,97 \cdot 6121,75 / 1,0} + 0,6 \cdot \frac{1157}{0,84 \cdot 1652,52 / 1,0} = 0,54 < 1,0 \quad \text{Zadovoljava!}$$

$$\frac{245,64}{0,75 \cdot 6121,75 / 1,0} + 0,36 \cdot \frac{1157}{0,84 \cdot 1652,52 / 1,0} = 0,34 < 1,0 \quad \text{Zadovoljava!}$$

7.5. KONTROLA POMAKA I PROGIBA (GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI)

δ_{max}	Node	L/C	X (mm)	Y (mm)	Resultant (mm)
Max X	45	47:GSU12	14.629	-0.176	14.630
Min X	44	47:GSU12	-13.300	-0.166	13.301
Max Y	3	45:GSU10	0.152	1.105	1.116
Min Y	3	47:GSU12	0.740	-95.313	95.316
Max Z	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Min Z	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Max rX	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Min rX	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Max rY	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Min rY	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Max rZ	1	47:GSU12	0.000	0.000	0.000
Min rZ	5	47:GSU12	0.000	0.000	0.000
Max Rst	3	47:GSU12	0.740	-95.313	95.316

δ_2	Node	L/C	X (mm)	Y (mm)	Resultant (mm)
Max X	45	47:GSU12	7.000	-0.076	7.001
Min X	44	47:GSU12	-6.146	-0.066	6.146
Max Y	3	41:GSU6	0.000	22.560	22.560
Min Y	3	47:GSU12	0.468	-44.967	44.970
Max Z	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Min Z	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Max rX	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Min rX	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Max rY	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Min rY	1	36:GSU1	0.000	0.000	0.000
Max rZ	1	47:GSU12	0.000	0.000	0.000
Min rZ	5	47:GSU12	0.000	0.000	0.000
Max Rst	3	47:GSU12	0.468	-44.967	44.970

Vertikalni progib prečke okvira

Čvor	Slučaj opterećenja	Progib	Dopušteni progib
3	GSU12	$\delta_2 = 44,967 \text{ mm}$	$\frac{L}{250} = \frac{30000}{250} = 120 \text{ mm}$
3	GSU12	$\delta_{max} = 95,313 \text{ mm}$	$\frac{L}{200} = \frac{30000}{200} = 150 \text{ mm}$

Horizontalni pomak okvira

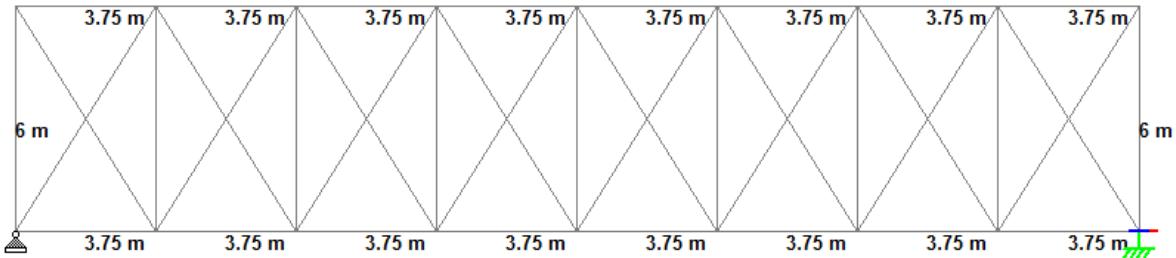
Čvor	Slučaj opterećenja	Progib	Dopušteni pomak
45	GSU12	$\delta_{max} = 14,629 \text{ mm}$	$\frac{h}{150} = \frac{8000}{150} = 53,33 \text{ mm}$

Glavni okvir zadovoljava GSU.

8. VJETROVNI VEZOVI

8.1. HORIZONTALNI POPREČNI VEZ

8.1.1. Analiza opterećenja



OPTEREĆENJE VJETROM

Mjerodavan je slučaj opterećenja vjetrom III.

$$w_1 = 0,221 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2 = 0,095 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra W_d koju preuzima jedan čvor horizontalnog poprečnog veza:

$$F_{d,D} = \left[\left(\frac{8+9}{2} \cdot 3,75 \right) \cdot 0,221 \right] \cdot \frac{3}{8} \cdot 1,5 = 3,962 \text{ kN}$$

$$F_{d,E} = \left[\left(\frac{8+9}{2} \cdot 3,75 \right) \cdot 0,095 \right] \cdot \frac{3}{8} \cdot 1,5 = 1,703 \text{ kN}$$

$$W_d = 0,5 \cdot (3,962 + 1,703) = 2,83 \text{ kN}$$

IMPERFEKCIJE OKVIRA

$$e_0 = \frac{k_r \cdot L}{500}$$

$$k_r = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_r}}$$

$$n_r = 6,5 \quad (\text{sustav stabilizira } 6,5 \text{ poprečna okvira})$$

$$k_r = \sqrt{0,2 + \frac{1}{6,5}} = 0,59 < 1$$

$$k_r = 0,59$$

$$e_0 = \frac{0,59 \cdot 30}{500} = 0,0354 \text{ m} = 3,54 \text{ cm}$$

$$e_0 = 3,54 \text{ cm}$$

ZAMJENSKO EKVIVALENTNO OPTEREĆENJE

Prepostavljena veličina progiba veza od svih djelovanja u svojoj ravnini:

$$\delta_q \leq \frac{L}{2500} = \frac{3000}{2500} = 1,2 \text{ cm}$$

$$\delta_q \leq 1,2 \text{ cm}$$

Zamjensko ekvivalentno opterećenje q_e za usvojeno δ_q :

$$q_e = \frac{\sum N_{Ed}}{60 \cdot L} \cdot (k_r + 0,2)$$

Najveća sila u tlačnom pojasu rešetkastog nosača prečke okvira (kombinacija GSN12):

$$N_{Ed} = 179,09 \text{ kN}$$

$$q_e = \frac{6,5 \cdot 179,09}{60 \cdot 30} \cdot (0,59 + 0,2) = 0,51 \text{ kN/m}$$

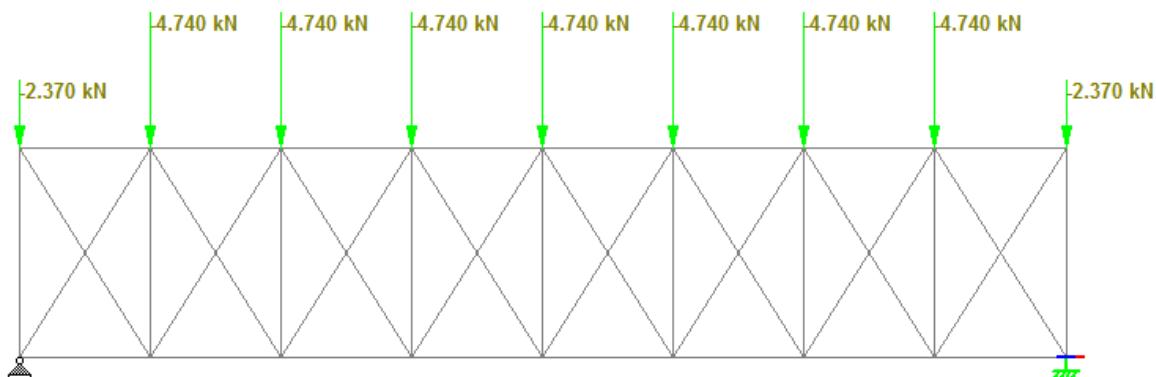
Sila na jedan čvor horizontalnog poprečnog veza od ekvivalentnog opterećenja:

$$P_d = 0,51 \text{ kN/m} \cdot 3,75 \text{ m} = 1,91 \text{ kN}$$

UKUPNO OPTEREĆENJE PO JEDNOM ČVORU VEZA:

$$Q_d = W_d + P_d = 2,83 + 1,91 = 4,74 \text{ kN}$$

$$Q_d = 4,74 \text{ kN}$$

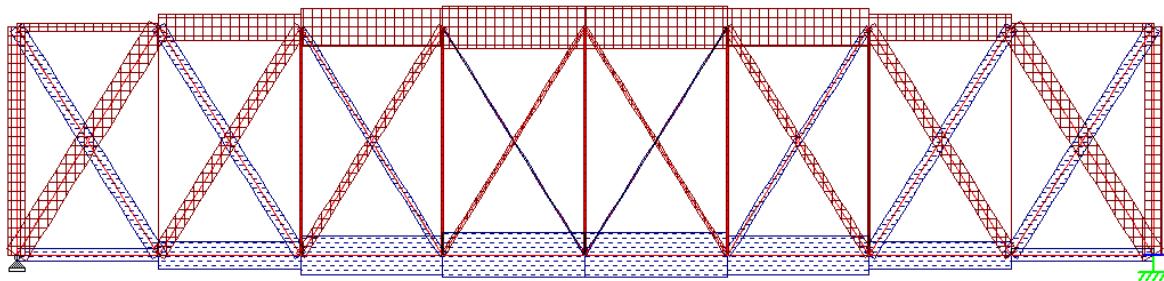


8.1.2. Proračun unutarnjih sila i deformacija

Proračun unutarnjih sila proveden je na modelu rešetkastog nosača s vlačnim dijagonalama programom STAAD. Horizontalni poprečni vez je sastavljen: gornji i donji pojedinačni vlačni profili okvirnog nosača, vertikale su podrožnice (u ranijim točkama zadatka dimenzionirani), te vlačnih dijagonala koje se kod tlačnog opterećenja izvijaju tako da je za njihovo dimenzioniranje mjerodavna najveća vlačna sila:

- uzdužna sila: $N_{Ed} = 7,68 \text{ kN}$
- maksimalni progib: $\delta_q = 4,34 \text{ mm} = 0,434 \text{ cm} \leq \frac{L}{2500} = 1,2 \text{ cm}$

Dijagram uzdužnih sila:



8.1.3. Dimenzioniranje dijagonale horizontalnog poprečnog veza

Odabрано: $\phi 51,0 \times 1,6$

Kvaliteta čelika: S235

$$A = 2,48 \text{ cm}^2$$

$$L_i = 353,77 \text{ cm}$$

8.1.3.1. Tlačno naprezani element

1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

$$\frac{d}{t} = \frac{51}{1,6} = 31,88$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50$$

$$31,88 < 50$$

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu - izloženog tlaku:

$$N_{c.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,48 \cdot 23,5}{1,0} = 58,28 \text{ kN}$$

$$N_{c.Rd} = 58,28 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd}$$

$$7,68 \text{ kN} < 58,28 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7,58}{353,77^2} = 12,55 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 12,55 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,48 \cdot 23,5}{12,55}} = 2,15 \quad - \text{svedena vitkost}$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kružni profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,15 - 0,2) + 2,15^2] = 3,02$$

$$\Phi = 3,02$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,02 + \sqrt{3,02^2 - 2,15^2}} = 0,195$$

$$\chi = 0,195$$

$$N_{b.Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,195 \cdot \frac{2,48 \cdot 23,5}{1,0} = 11,36 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd} = 11,36 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$7,68 \text{ kN} < 11,36 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

8.1.3.2. Vlačno naprezani element

1. Tečenje brutto poprečnog presjeka:

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A = 12 \cdot 1,0 = 12 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{12,0 \cdot 23,5}{1,0} = 282 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} = 282 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{pl.Rd}$$

$$7,68 \text{ kN} < 282 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

2. Lom netto poprečnog presjeka:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{netto} = (14 - 1,6) \cdot 1,0 = 12,4 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 12,4 \cdot 36}{1,25} = 321,41 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 321,41 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

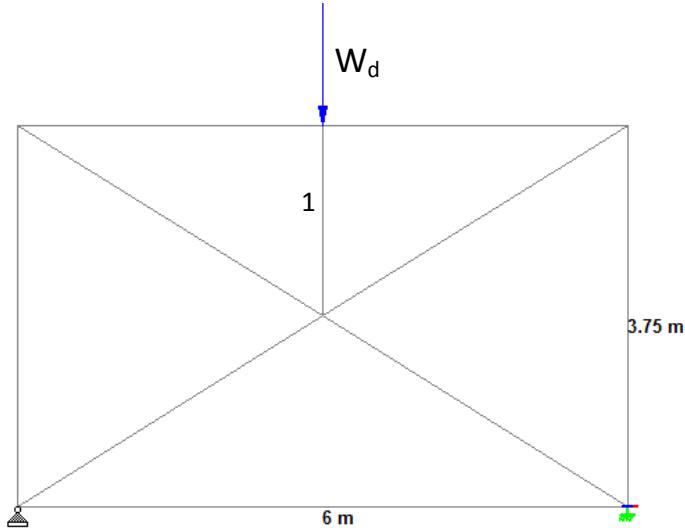
$$7,68 \text{ kN} < 321,41 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

8.2. HORIZONTALNI UZDUŽNI VEZ

8.2.1. Analiza opterećenja

Mjerodavan je slučaj opterećenja vjetrom II za element 1, dok je za dijagonale mjerodavan slučaj opterećenja IV.



Sila W_{1d} za slučaj opterećenja II (dobivena je kao reakcija sekundarnog stupa u uzdužnoj stijeni):

$$W_{1d} = \left(\frac{8}{2} \cdot 6\right) \cdot 0,345 \cdot 1,5 = 12,42 \text{ kN}$$

Sila W_{2d} za slučaj opterećenja IV (dobivena je kao reakcija sekundarnog stupa u uzdužnoj stijeni):

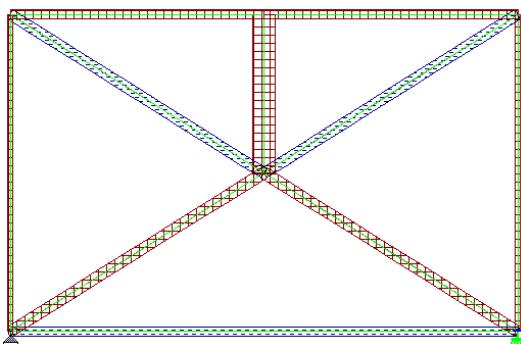
$$W_{2d} = [3,6 \cdot (-0,58) + (6 - 3,6) \cdot (-0,453)] \cdot \frac{8}{2} \cdot 1,5 = -19,05 \text{ kN}$$

8.2.2. Proračun unutarnjih sila

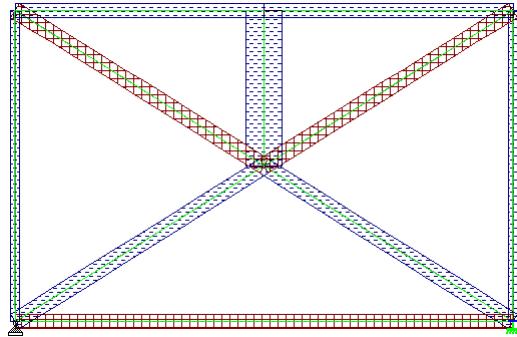
Proračun unutarnjih sila proveden je na modelu rešetkastog nosača programom STAAD. Horizontalni uzdužni vez se sastoji od:

- gornjeg i donjeg pojasa koji su podrožnica IPE 140
- rubnih vertikalnih profila koji su cijevni okvirni nosači profila 200 x 200 x 8,0
- vertikalnog elementa 1 koji je cijevni profil $\phi 38,0 \times 1,6$
- vlačnih dijagonala, koje se kod tlačnog opterećenja izvijaju tako da je za njihovo dimenzioniranje mjerodavna najveća vlačna sila profila $\phi 51,0 \times 1,6$

W_{1d} :



W_{2d} :



Vrijednosti unutanjih sila:

- dijagonale: 8,84 kN (tlak)
9,13 kN (vlak)
- element 1: 12,4 kN (tlak)

Maksimalni progib: $\delta_q = 2,25 \text{ mm} = 0,225 \text{ cm} \leq \frac{L}{2500} = 1,2 \text{ cm}$

8.2.3. Dimenzioniranje elementa 1

Odarano: $\phi 38,0 \times 1,6$

Kvaliteta čelika: S235

$$A = 1,83 \text{ cm}^2$$

$$L_i = 187,5 \text{ cm}$$

8.2.3.1. Tlačno naprezani element

1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

$$\frac{d}{t} = \frac{38}{1,6} = 23,75$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50$$

$$23,75 < 50$$

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu - izloženog tlaku:

$$N_{c.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,83 \cdot 23,5}{1,0} = 43,01 \text{ kN}$$

$$N_{c.Rd} = 43,01 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd}$$

$$12,4 \text{ kN} < 43,01 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 3,04}{187,5^2} = 17,92 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 17,92 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,83 \cdot 23,5}{17,92}} = 1,55 \quad - \text{svedena vitkost}$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kružni profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,55 - 0,2) + 1,55^2] = 1,84$$

$$\Phi = 1,84$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,84 + \sqrt{1,84^2 - 1,55^2}} = 0,353$$

$$\chi = 0,353$$

$$N_{b.Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,353 \cdot \frac{1,83 \cdot 23,5}{1,0} = 15,18 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd} = 15,18 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd}$$

$$12,4 \text{ kN} < 15,18 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

8.2.4. Dimenzioniranje dijagonale horizontalnog uzdužnog veza

Odabrano: $\phi 51,0 \times 1,6$

Kvaliteta čelika: S235

$$A = 2,48 \text{ cm}^2$$

$$L_i = 353,77 \text{ cm}$$

8.2.4.1. Tlačno naprezani element

1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

$$\frac{d}{t} = \frac{51}{1,6} = 31,88$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50$$

$$31,88 < 50$$

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu - izloženog tlaku:

$$N_{c.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,48 \cdot 23,5}{1,0} = 58,28 \text{ kN}$$

$N_{c.Rd} = 58,28 \text{ kN}$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd}$$

$$8,84 \text{ kN} < 58,28 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7,58}{353,77^2} = 12,55 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 12,55 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr.y}}} = \sqrt{\frac{2,48 \cdot 23,5}{12,55}} = 2,15 \quad - \text{svedena vitkost}$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kružni profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,15 - 0,2) + 2,15^2] = 3,02$$

$$\Phi = 3,02$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,02 + \sqrt{3,02^2 - 2,15^2}} = 0,195$$

$$\chi = 0,195$$

$$N_{b.Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,195 \cdot \frac{2,48 \cdot 23,5}{1,0} = 11,36 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd} = 11,36 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd}$$

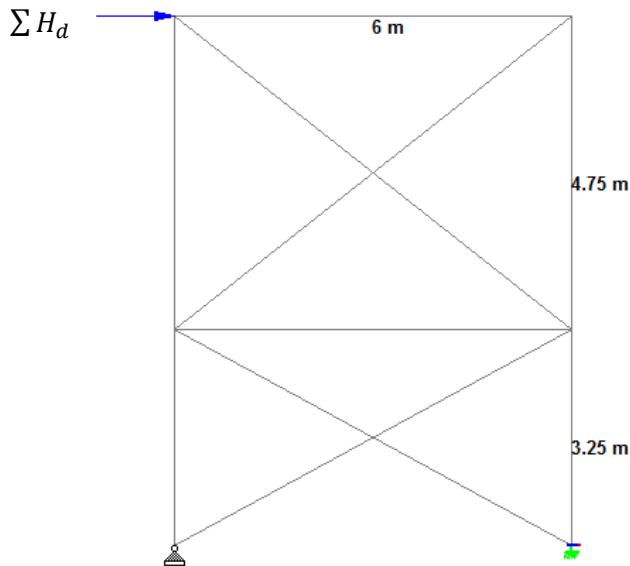
$$8,84 \text{ kN} < 11,36 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

8.3. VERTIKALNI UZDUŽNI VEZ

8.3.1. Analiza opterećenja

Odabran je vez s vlačno tlačnim dijagonalama:



Opterećenje vjetrom:

$$H_d = 2 \cdot \frac{3,75 \cdot 4,74}{2} = 17,78 \text{ kN}$$

Utjecaj imperfekcija:

$$\phi = k_c \cdot k_s \cdot \phi_0$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

$$k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_c}} = \sqrt{0,5 + \frac{1}{5,5}} = 0,826$$

$$k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_s}} = \sqrt{0,2 + \frac{1}{2}} = 0,837$$

$$\phi = 0,826 \cdot 0,837 \cdot \frac{1}{200} = 3,46 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta H_d = \phi \cdot N_{Ed}$$

$$\Delta H_d = 3,46 \cdot 10^{-3} \cdot 5,5 \cdot 251,302 = 4,78 \text{ kN}$$

Ukupna horizontalna sila:

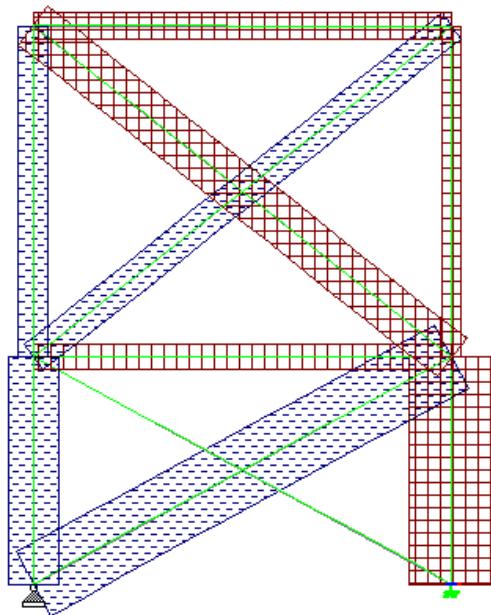
$$\sum H_d = H_d + \Delta H_d = 17,78 + 4,78 = 22,56 \text{ kN}$$

8.3.2. Proračun unutarnjih sila

Proračun unutarnjih sila proveden je u STAAD-u. Model rešetke sastoji se od:

- stupova HEA 700
- gornje prečke IPE 140
- ispune $\phi 70,0 \times 2,6$
- horizontalne prečke UPN 200

Dijagram uzdužnih sila:



Uzdužne sile u dijagonalama:

- tlak: 17,25 kN
- vlak: 25,66 kN

8.3.3. Dimenzioniranje dijagonale horizontalnog uzdužnog veza

Odabrano: $\phi 70,0 \times 2,6$

Kvaliteta čelika: S235

$$A = 5,51 \text{ cm}^2$$

$$L_i = 382,63 \text{ cm}$$

8.3.3.1. Tlačno naprezani element

1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

$$\frac{d}{t} = \frac{70}{2,6} = 26,92$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50$$

$$26,92 < 50$$

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu - izloženog tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,51 \cdot 23,5}{1,0} = 129,49 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 129,49 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$17,25 \text{ kN} < 129,49 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3. Otpornost elementa - izloženog tlaku (otpornost na izvijanje):

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

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_i^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 31,3}{382,63^2} = 44,31 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = 44,31 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,51 \cdot 23,5}{44,31}} = 1,71 \quad - \text{ svedena vitkost}$$

Mjerodavna linija izvijanja:

kružni profil; toplo dogotovljeni - linija a - faktor imperfekcije: $\alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,71 - 0,2) + 1,71^2] = 2,12$$

$$\Phi = 2,12$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,12 + \sqrt{2,12^2 - 1,71^2}} = 0,296$$

$$\chi = 0,296$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,296 \cdot \frac{5,51 \cdot 23,5}{1,0} = 38,33 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 38,33 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$17,25 \text{ kN} < 38,33 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

8.3.3.2. Vlačno naprezani element

1. Tečenje brutto poprečnog presjeka:

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A = 12 \cdot 1,0 = 12 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{12,0 \cdot 23,5}{1,0} = 282 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} = 282 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$25,66 \text{ kN} < 282 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

2. Lom netto poprečnog presjeka:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{netto} = (14 - 1,6) \cdot 1,0 = 12,4 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 12,4 \cdot 36}{1,25} = 321,41 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 321,41 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$25,66 \text{ kN} < 321,41 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

9. ZABATNI SEKUNDARNI STUP

9.1. ANALIZA OPTEREĆENJA I PRORAČUN UNUTARNJIH SILA

Analiza opterećenja:

- vlastita težina stupa	$0,5 \text{ kN/m} \cdot 8 \text{ m} = 4 \text{ kN}$
- prečka zabata:	$0,11 \text{ kN/m} \cdot 3,75 \text{ m} = 0,413 \text{ kN}$
- vertikalna obloga:	$0,3 \text{ kN/m} \cdot 8 \text{ m} = 2,4 \text{ kN}$
	<hr/>
	$G_k = 6,813 \text{ kN}$

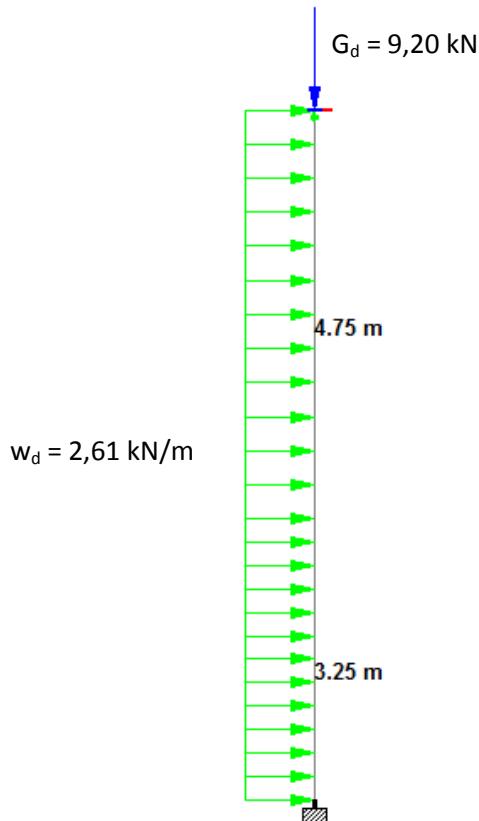
- opterećenje vjetrom:	$0,58 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,0 \text{ m} = 1,74 \text{ kN}$
	<hr/>
	$w_k = 1,74 \text{ kN/m}$

Kombinacija djelovanja za granično stanje nosivosti (stalno + vjetar):

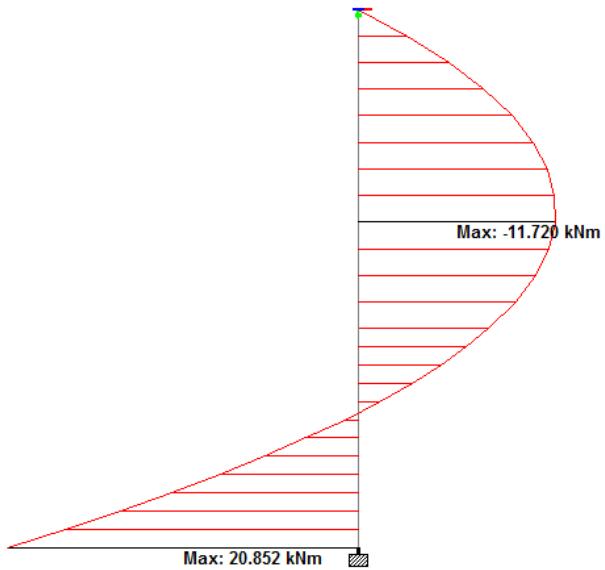
$$G_d = 1,35 \cdot 6,813 = 9,20 \text{ kN}$$

$$w_d = 1,5 \cdot 1,74 = 2,61 \text{ kN/m}$$

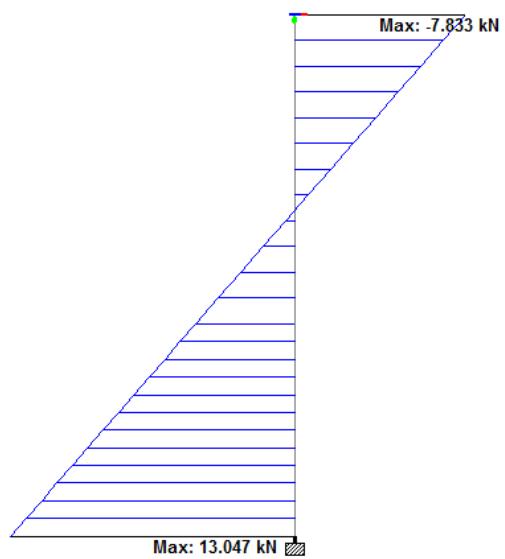
Opterećenje sekundarnog zabatnog stupa:



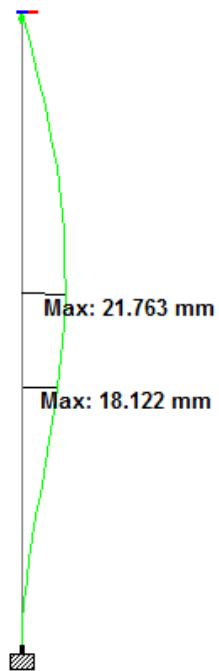
Dijagram momenata za sekundarni stup u zabetnoj stijeni:



Dijagram poprečnih sila za sekundarni stup u zabetnoj stijeni:



Dijagram progiba za sekundarni stup u zabitnoj stijeni:



Vrijednosti reznih sila u zabitnom stupu:

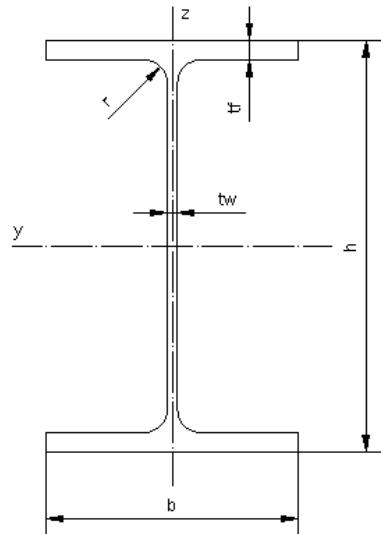
$$N_{Ed} = 9,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 20,85 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 13,05 \text{ kN}$$

9.2. DIMENZIONIRANJE

Odabrano: IPE 160



Geometrijske karakteristike profila IPE 160:

Profil	G [kg/m]	A [cm ²]	Dimenziije poprečnog presjeka					Konstante	
			h [mm]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	I _t [cm ⁴]	I _w *10 ⁻³ [cm ⁶]
IPE 160	15,8	20,09	160	82	5,0	7,4	9	3,60	3,96

Profil	Statičke veličine									
	OS y-y					OS z-z				
	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{pl.y} [cm ³]	i _y [cm]	A _{v.z} [cm ²]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{pl.z} [cm ³]	i _z [cm]	A _{v.y} [cm ²]
IPE 160	869,3	108,7	123,9	6,58	9,66	68,31	16,66	26,10	1,84	12,84

1. Klasifikacija poprečnog presjeka:

a) HRBAT

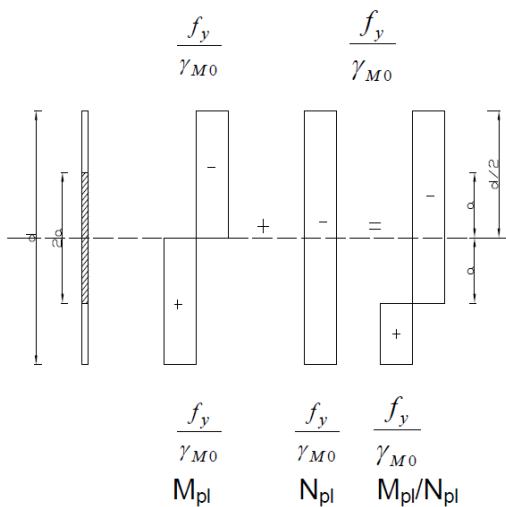
$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{160 - 2 \cdot 7,4 - 2 \cdot 9}{5,0} = \frac{127,2}{5} = 25,44$$

Uvjet KLASA 1:

$$Za \alpha > 0,5 \quad \frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$$

$$Za \alpha \leq 0,5 \quad \frac{c}{t} \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$$

Proračun α :



$$N_{pl,Rd} = N_{Ed} = \frac{2a \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$a = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_w \cdot f_y} = \frac{9,2 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,5 \cdot 23,5} = 0,39$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{12,72} \cdot \left(\frac{12,72}{2} + 0,39 \right) = 0,53$$

$$\alpha = 0,53 > 0,5 \quad \Rightarrow \quad \frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,53 - 1} = 67,23$$

$25,44 < 67,23$ uvjet zadovoljen

Hrbat - KLASA 1

b) POJASNICA

$$\frac{c}{t} = \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{82}{2} - \frac{5,0}{2} - 9}{7,4} = 3,99$$

Uvjet KLASA 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9,0$$

$3,99 < 9,0$ uvjet zadovoljen

Pojasnica - KLASA 1

Poprečni presjek je KLASE 1

2. Otpornost poprečnog presjeka

2.1. Izloženost tlaku

$$N_{c.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20,09 \cdot 23,5}{1,0} = 472,12 \text{ kN}$$

$$N_{c.Rd} = 472,12 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd}$$

$$9,20 \text{ kN} < 472,12 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.2. Izloženost savijanju

$$M_{c.Rd} = \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{123,9 \cdot 23,5}{1,0} = 2911,65 \text{ kNm}$$

$$M_{c.Rd} = 29,12 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{c.Rd}$$

$$20,85 \text{ kNm} < 29,12 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.3. Izloženost poprečnoj sili (posmična otpornost)

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{160 - 2 \cdot 7,4}{5,0} = \frac{145,2}{5} = 29,04 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{1}{1,2} = 60$$

Nije potrebna kontrola izbočavanja na posmik.

$$V_{pl.z.Rd} = A_{v.z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Posmična površina u smjeru osi z:

$$A_{v.z} = A - 2bt_f + (t_w + 2r) \cdot t_f = 20,09 - 2 \cdot 8,2 \cdot 0,74 + (0,5 + 2 \cdot 0,9) \cdot 0,74 = 9,656 \text{ cm}^2$$

$$A_{v.z} \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 14,52 \cdot 0,5 = 8,712 \text{ cm}^2$$

$$9,656 \text{ cm}^2 > 8,712 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{v.z} = 9,656 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl.z.Rd} = 9,656 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 131,01 \text{ kN}$$

$$V_{pl.z.Rd} = 131,01 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z.Ed} \leq V_{pl.z.Rd}$$

$$13,05 \text{ kN} < 131,01 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.4. Interakcija M-N-V

2.4.1. Poprečna sila

Uvjeti reduciranja plastične otpornosti savijanja:

$$V_{z.Ed} < 0,5 \cdot V_{pl.z.Rd}$$

$$13,05 < 0,5 \cdot 131,01 = 65,51$$

$$13,05 \text{ kN} < 65,51 \text{ kN} \rightarrow \text{Nije potrebna redukcija otpornosti na poprečnu silu}$$

$$M_{y.V.Rd} = M_{c.Rd}$$

$$M_{y.V.Rd} = 29,12 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{y.V.Rd}$$

$$20,85 \text{ kNm} < 29,12 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen!

2.4.2. Uzdužna sila

Uvjeti nereduciranja plastične otpornosti savijanja:

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

$$9,2 \leq 0,25 \cdot 472,12 = 118,03$$

$$9,2 \text{ kN} < 118,03 \text{ kN}$$

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

$$9,2 \leq \frac{0,5 \cdot 14,52 \cdot 0,5 \cdot 23,5}{1,0} = 85,31$$

$$9,2 \text{ kN} < 85,31 \text{ kN}$$

Nema redukcije plastične otpornosti savijanja.

$$M_{N.y.Rd} = M_{c.Rd}$$

$$M_{N.y.Rd} = 29,12 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{N.y.Rd}$$

$$20,85 \text{ kNm} < 29,12 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen!

2. Otpornost elementa

3.1. Izloženost tlaku (otpornost tlaka na izvijanje)

Dokaz prema χ (hi)postupku:

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

Mjerodavna linija izvijanja:

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

$$t_f = 7,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

Koeficijenti imperfekcije:

$$\text{Os } y \rightarrow \text{linija a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

$$\text{Os } z \rightarrow \text{linija b} \rightarrow \alpha = 0,34$$

Os y-y

Kritična uzdužna sila u smjeru osi y:

$$L_{iy} = 0,7 \cdot 800 = 560 \text{ cm}$$

$$N_{cry} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{iy}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 869,3}{560^2} = 574,53$$

$$N_{cry} = 574,53 \text{ kN}$$

Torzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cry}}} = \sqrt{\frac{20,09 \cdot 23,5}{574,53}} = 0,91$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,91$$

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,91 - 0,2) + 0,91^2] = 0,99$$

$$\phi_y = 0,99$$

Redukcijski faktor torzijskog izvijanja:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,99 + \sqrt{0,99^2 - 0,91^2}} = 0,72 < 1,0$$

$$\chi_y = 0,72$$

Osi z-z

Kritična uzdužna sila u smjeru osi z:

$$L_{iz} = 475 \text{ cm}$$

$$N_{crz} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{iz}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,31}{475^2} = 62,75$$

$$N_{crz} = 62,75 \text{ kN}$$

Torzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cry}}} = \sqrt{\frac{20,09 \cdot 23,5}{62,75}} = 2,74$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,74$$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2} \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,74 - 0,2) + 2,74^2] = 4,69$$

$$\phi_z = 4,69$$

Redukcijski faktor torzijskog izvijanja:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} = \frac{1}{4,69 + \sqrt{4,69^2 - 2,74^2}} = 0,12 < 1,0$$

$$\chi_z = 0,12$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,72; 0,12) = 0,12$$

$$N_{b,Rd} = 0,12 \cdot \frac{20,09 \cdot 23,5}{1,0} = 56,65$$

$$N_{b,Rd} = 56,65 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$9,20 \text{ kN} < 56,65 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3.2. Izloženost savijanju

DIO ELEMENTA UZ TEMELJ

Elastični kritični moment bočnog izvijanja:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot EI_z}}$$

$$E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$$

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

Torzijska konstanta: $I_t = 3,60 \text{ cm}^4$

Konstanta krivljenja: $I_w = 3,96 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$

Koeficijent ovisan o opterećenju: $C_1 = 2,1844$

Razmak između točaka bočnog pridržanja tlačnog pojasa: $L_{cr} = 325 \text{ cm}$

$$M_{cr} = 2,1844 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,31}{325^2} \cdot \sqrt{\frac{3,96 \cdot 10^3}{68,31} + \frac{325^2 \cdot 8077 \cdot 3,60}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,31}} = 10625,511 \text{ kNm}$$

Lateralna torzijska vitkost:

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{123,9 \cdot 23,5}{10625,511}} = 0,52$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = 0,52 > 0,2$$

Redukcijski faktor lateralnog torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}}^2}} \leq 1$$

Mjerodavna linija:

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

Lateralni koeficijent imperfekcije:

Linija a → $\alpha_{LT} = 0,21$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha(\overline{\lambda_{LT}} - 0,2) + \overline{\lambda_{LT}}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,52 - 0,2) + 0,52^2] = 0,67$$

$$\phi_{LT} = 0,67$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,52^2}} = 0,915$$

$$\chi_{LT} = 0,915$$

Dokaz prema χ (hi)postupku:

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,915 \cdot \frac{123,9 \cdot 23,5}{1,0} = 2664,16 \text{ kNm}$$

$$M_{b.Rd} = 26,64 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y.Ed} \leq M_{b.Rd}$$

$$20,85 \text{ kN} < 26,64 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

GORNI DIO ELEMENTA

Elastični kritični moment bočnog izvijanja:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot EI_z}}$$

$$E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\text{Torzijska konstanta: } I_t = 3,60 \text{ cm}^4$$

$$\text{Konstanta krivljenja: } I_w = 3,96 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$$

$$\text{Koeficijent ovisan o opterećenju: } C_1 = 1,77$$

$$\text{Razmak između točaka bočnog pridržanja tlačnog pojasa: } L_{cr} = 475 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,31}{475^2} \cdot \sqrt{\frac{3,96 \cdot 10^3}{68,31} + \frac{475^2 \cdot 8077 \cdot 3,60}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 68,31}} = 4391,587 \text{ kNm}$$

Lateralna torzijska vitkost:

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{123,9 \cdot 23,5}{4391,587}} = 0,81$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = 0,81 > 0,2$$

Redukcijski faktor lateralnog torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}}^2}} \leq 1$$

Mjerodavna linija:

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

Lateralni koeficijent imperfekcije:

$$\text{Linija a} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha(\overline{\lambda_{LT}} - 0,2) + \overline{\lambda_{LT}}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,81 - 0,2) + 0,81^2] = 0,89$$

$$\phi_{LT} = 0,89$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,89 + \sqrt{0,89^2 - 0,81^2}} = 0,794$$

$$\chi_{LT} = 0,794$$

Dokaz prema χ (hi)postupku:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,794 \cdot \frac{123,9 \cdot 23,5}{1,0} = 2311,85 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 23,85 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$20,85 \text{ kN} < 23,85 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

3.3. Interakcija M-N s problemom bočnog izvijanja

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

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

$$N_{Rk} = N_{c.Rd} \cdot \gamma_{M0} = A \cdot f_y = N_{c.Rd} = 472,12 \text{ kN}$$

$$M_{y.Rk} = M_{c.Rd} \cdot \gamma_{M0} = W_{pl,y} \cdot f_y = M_{c.Rd} = 29,12 \text{ kNm}$$

$$M_{z.Rk} = 0$$

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

$$\psi = 0 \quad \Rightarrow \quad C_{my} = 0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (0,91 - 0,2) \cdot \frac{9,2}{0,72 \cdot 472,12/1,0} \right] \leq 0,6 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{9,2}{0,72 \cdot 472,12/1,0} \right]$$

$$k_{yy} = 0,612 \leq 0,613$$

$$k_{yy} = 0,612$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,74 > 0,4 \quad \Rightarrow \quad k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,367$$

$$k_{zy} = 0,367$$

$$\frac{9,2}{0,72 \cdot 472,12/1,0} + 0,612 \cdot \frac{20,85}{0,794 \cdot 29,12/1,0} = 0,58 < 1,0 \quad \text{Zadovoljava!}$$

$$\frac{9,2}{0,12 \cdot 472,12/1,0} + 0,367 \cdot \frac{20,85}{0,794 \cdot 29,12/1,0} = 0,49 < 1,0 \quad \text{Zadovoljava!}$$

9.3. KONTROLA POMAKA (GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI)

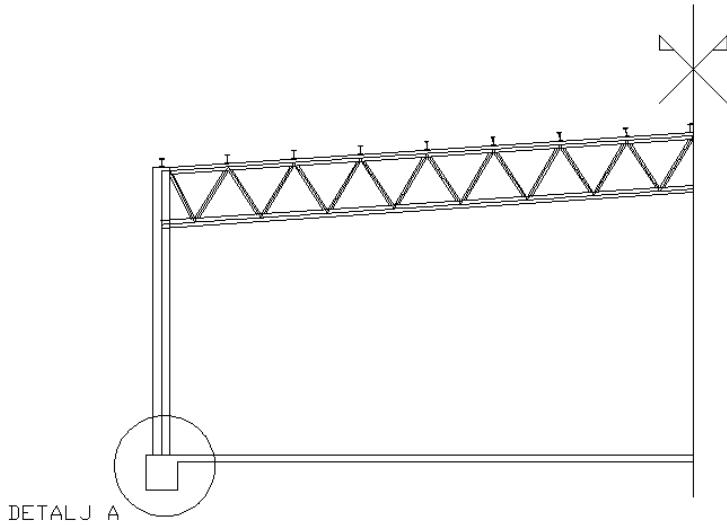
$$\delta_{max} = 21,76 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$$

Progib je manji od dopuštenog.

10. PRORAČUN SPOJEVA

10.1. SPOJ GLAVNOG STUPA S TEMELJEM

Detalj spoja stupa s temeljem:



Vrijednosti reznih sila:

$$V_{z.Ed} = 182,77 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 251,30 \text{ kN}$$

Čelik S235

Stup HEA 700:

Profil	G [kg/m]	A [cm ²]	Dimenziije poprečnog presjeka					Konstante		
			h [mm]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	I _t [cm ⁴]	I _w *10 ⁻³ [cm ⁶]	
HEA 700	204	260,5	690	300	14,5	27,0	27	513,9	13350	

Vijak M24, k.v. 8.8:

f _{ub}	e ₁	e ₂	p ₁ = p ₂	d	d ₀	C ₁ (klasa 8.8)	A _s
800 N/mm ² = 80 kN/cm ²	60 mm	50 mm	80 mm	24 mm	26 mm	0,6	353 mm ² = 3,53 cm ²

10.1.1. Otpornost vijaka opterećenih na odrez

$$F_{v.Rd} = \frac{F_{V.Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{C_1 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 3,53}{1,25} = 135,55 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} = 135,55 \text{ kN} \quad (\text{za 1 vijak i 1 reznu površinu})$$

Za 2 vijka i 1 reznu površinu:

$$\overline{F_{v.Rd}} = F_{v.Rd} \cdot 2 \cdot 1 = 271,1 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{v.Rd}} = 271,1 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z.Ed} \leq \overline{F_{v.Rd}}$$

$$182,77 \text{ kN} < 271,1 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.1.2. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$t = 40 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1 \right)$$

$$\alpha = \min \left(\frac{60}{3 \cdot 26} ; \frac{80}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} ; \frac{80}{36} ; 1 \right)$$

$$\alpha = \min(0,77 ; 0,78 ; 2,22 ; 1)$$

$$\alpha = 0,77$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 4,0}{1,25} = 532,22 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{b.Rd}} = 532,22 \text{ kN}$$

Za 2 rupe:

$$\overline{F_{b.Rd}} = 2 \cdot F_{b.Rd} = 1064,44 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

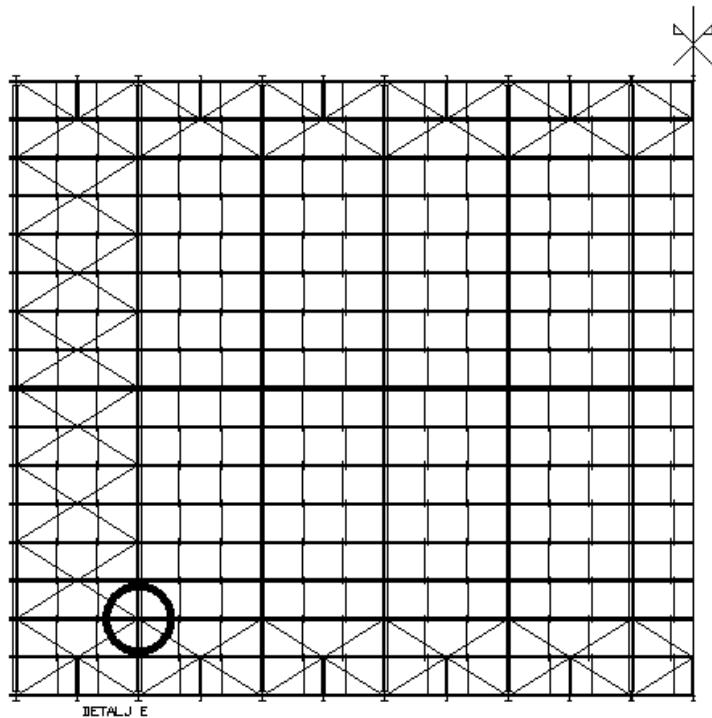
$$V_{z.Ed} \leq \overline{F_{b.Rd}}$$

$$182,77 \text{ kN} < 1064,44 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.2. DIJAGONALA HORIZONTALNOG POPREČNOG SPREGA

Detalj spoja dijagonale horizontalnog poprečnog veza:



Vrijednost rezne sile:

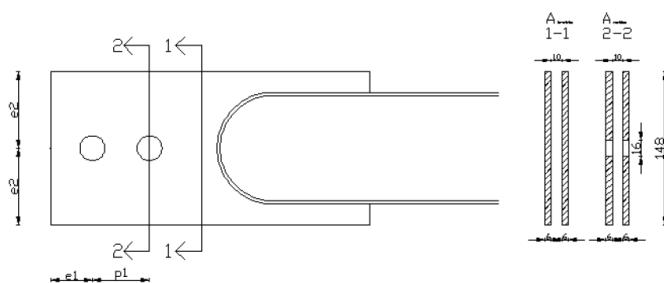
$$N_{Ed} = 7,68 \text{ kN}$$

Čelik S235

Vijak M16, k.v. 8.8: odabrana su 2 vijka

f_{ub}	e_1	e_2	$p_1 = p_2$	d	d_0	C_1 (klasa 8.8)	A_s
$800 \text{ N/mm}^2 = 80 \text{ kN/cm}^2$	40 mm	30 mm	55 mm	16 mm	18 mm	0,6	$157 \text{ mm}^2 = 1,57 \text{ cm}^2$

Detalj spoja dijagonale horizontalnog poprečnog veza:



Otpornost vilice dijagonale:

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \gamma_{M0} = 1,0$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

10.2.1. Lom na mjestu netto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = (148 - 18) \cdot 6 \cdot 2 = 1560 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 15,6 \cdot 36}{1,25} = 404,35 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 404,35 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$7,68 \text{ kN} < 404,35 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.2.2. Tečenje brutto poprečnog presjeka:

$$A_{brutto} = 148 \cdot 6 \cdot 2 = 1776 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,76 \cdot 23,5}{1,0} = 417,36 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} = 417,36 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{pl.Rd}$$

$$7,68 \text{ kN} < 417,36 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.2.3. Otpornost vijaka opterećenih na odrez

$$F_{v.Rd} = \frac{F_{V.Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{C_1 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 1,57}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} = 60,29 \text{ kN} \quad (\text{za 1 vijak i 1 reznu površinu})$$

Za 2 vijka i 2 rezne površine:

$$\overline{F_{v.Rd}} = F_{v.Rd} \cdot 2 \cdot 2 = 241,16 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{v.Rd}} = 241,16 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{v.Rd}}$$

$$7,68 \text{ kN} < 241,16 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.2.4. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right)$$

$$\alpha = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{55}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4}; \frac{80}{36}; 1\right)$$

$$\alpha = \min(0,74; 0,77; 2,22; 1)$$

$$\alpha = 0,74$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,0}{1,25} = 85,25 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{b.Rd}} = 85,25 \text{ kN}$$

Za 2 rupe:

$$\overline{F_{b.Rd}} = 2 \cdot F_{b.Rd} = 170,50 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

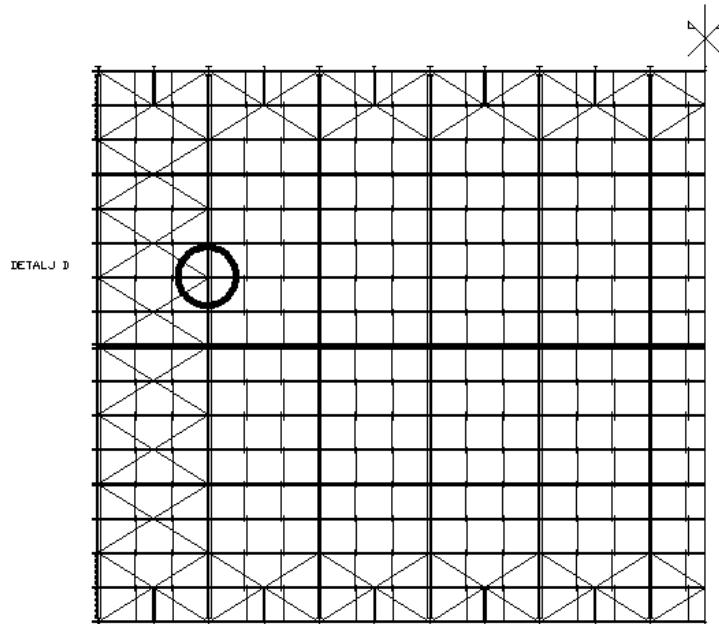
$$N_{Ed} \leq \overline{F_{b.Rd}}$$

$$7,68 \text{ kN} < 170,50 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.3. HORIZONTALNI JAHĀČ PODROŽNICA

Detalj jahača podrožnice:



Vrijednosti reznih sila:

Maksimalna poprečna sila na vrhu sekundarnog stupa: $V_{z,Ed} = 7,83 \text{ kN}$

Maksimalno odižuće djelovanje vjetra: $N_{Ed} = 4,74 \text{ kN}$

Čelik S235

Debljina lima: $t = 10 \text{ cm}$

Vijak M12, k.v. 8.8: odabrana su 2 vijka

f_{ub}	e_1	e_2	$p_1 = p_2$	d	d_0	C_1 (klasa 8.8)	A_s
$800 \text{ N/mm}^2 = 80 \text{ kN/cm}^2$	30 mm	25 mm	40 mm	12 mm	13 mm	0,6	$84,3 \text{ mm}^2 = 0,843 \text{ cm}^2$

10.3.1. Otpornost vijaka opterećenih na odrez

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{V,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{C_1 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 0,843}{1,25} = 32,37 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 32,37 \text{ kN} \quad (\text{za 1 vijak i 1 reznu površinu})$$

Za 2 vijka i 1 reznu površinu:

$$\overline{F_{v.Rd}} = F_{v.Rd} \cdot 2 \cdot 1 = 64,74 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{v.Rd}} = 64,74 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z.Ed} \leq \overline{F_{v.Rd}}$$

$$7,83 \text{ kN} < 64,74 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.3.2. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right)$$

$$\alpha = \min\left(\frac{30}{3 \cdot 13}; \frac{40}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4}; \frac{80}{36}; 1\right)$$

$$\alpha = \min(0,77; 0,78; 2,22; 1)$$

$$\alpha = 0,77$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 36 \cdot 1,2 \cdot 1,0}{1,25} = 66,53 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{b.Rd}} = 66,53 \text{ kN}$$

Za 2 rupe:

$$\overline{F_{b.Rd}} = 2 \cdot F_{b.Rd} = 133,06 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{b.Rd}}$$

$$7,83 \text{ kN} < 133,06 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.3.3. Otpornost vijaka na vlak

$$F_{t.Rd} = \frac{F_{t.Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 80 \cdot 0,843}{1,25} = 48,55 \text{ kN}$$

$$F_{t.Rd} = 48,55 \text{ kN} \quad (\text{za 1 vijak})$$

Za 2 vijka:

$$\overline{F_{t.Rd}} = F_{t.Rd} \cdot 2 = 97,10 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{t.Rd}} = 97,10 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{t.Rd}}$$

$$4,74 \text{ kN} < 97,10 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.3.4. Interakcija odreza i vlaka

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

$$F_{v.Ed} = \frac{V_{z.Ed}}{2} = 3,92 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} = 64,74 \text{ kN}$$

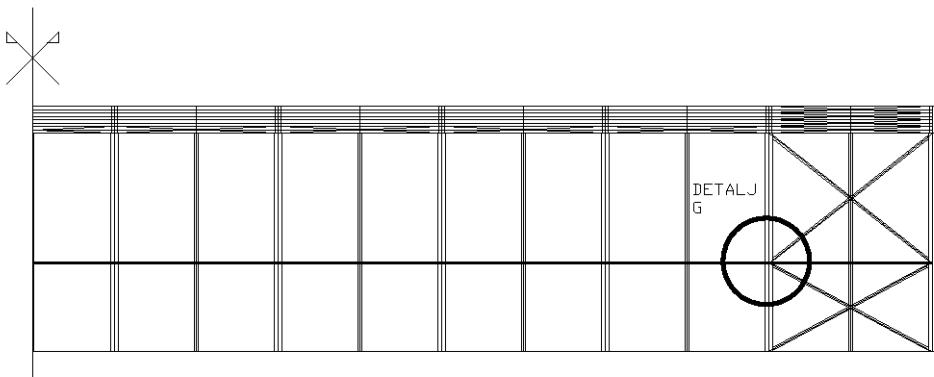
$$F_{t.Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = 2,37 \text{ kN}$$

$$F_{t.Rd} = 97,10 \text{ kN}$$

$$\frac{3,92}{64,74} + \frac{2,37}{1,4 \cdot 97,10} = 0,08 < 1 \quad \text{Zadovoljava!}$$

10.4. DIJAGONALA VERTIKALNOG UZDUŽNOG SPREGA

Detalj spoja dijagonale vertikalnog uzdužnog sprega:



Vrijednost rezne sile:

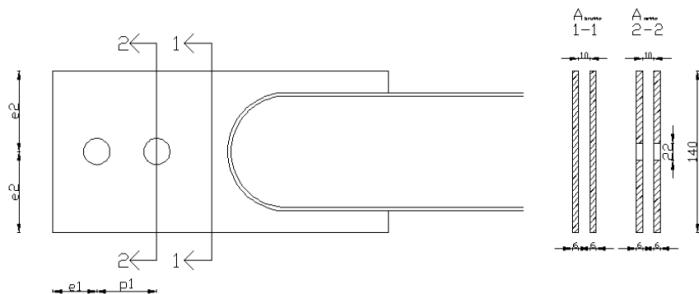
$$N_{Ed} = 17,25 \text{ kN}$$

Čelik S235

Vijak M20, k.v. 8.8:

f_{ub}	e_1	e_2	$p_1 = p_2$	d	d_0	C_1 (klasa 8.8)	A_s
$800 \text{ N/mm}^2 = 80 \text{ kN/cm}^2$	50 mm	40 mm	70 mm	20 mm	22 mm	0,6	$245 \text{ mm}^2 = 2,45 \text{ cm}^2$

Detalj spoja dijagonale horizontalnog poprečnog veza:



Otpornost vilice dijagonale:

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \gamma_{M0} = 1,0$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

10.4.1. Lom na mjestu netto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = (140 - 22) \cdot 6 \cdot 2 = 1416 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 14,16 \cdot 36}{1,25} = 367,03 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 367,03 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$17,25 \text{ kN} < 367,03 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.4.2. Tečenje brutto poprečnog presjeka:

$$A_{brutto} = 140 \cdot 6 \cdot 2 = 1680 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A_{brutto} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16,8 \cdot 23,5}{1,0} = 394,80 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} = 394,80 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{pl.Rd}$$

$$17,25 \text{ kN} < 394,80 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.4.3. Otpornost vijaka opterećenih na odrez

$$F_{v.Rd} = \frac{F_{V.Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{C_1 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 2,45}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} = 94,08 \text{ kN} \quad (\text{za 1 vijak i 1 reznu površinu})$$

Za 2 vijka i 2 rezne površine:

$$\overline{F_{v.Rd}} = F_{v.Rd} \cdot 2 \cdot 2 = 376,32 \text{ kN}$$

$$\overline{F_{v.Rd}} = 376,32 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{v.Rd}}$$

$$17,25 \text{ kN} < 376,32 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.4.4. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right)$$

$$\alpha = \min\left(\frac{50}{3 \cdot 22}, \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4}, \frac{80}{36}; 1\right)$$

$$\alpha = \min(0,76; 1,06; 2,22; 1)$$

$$\alpha = 0,76$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 36 \cdot 2,0 \cdot 1,0}{1,25} = 109,44 \text{ kN}$$

$$F_{b.Rd} = 109,44 \text{ kN}$$

Za 2 rupe:

$$\overline{F_{b.Rd}} = 2 \cdot F_{b.Rd} = 218,88 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{b.Rd}}$$

$$17,25 \text{ kN} < 218,88 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

11. NACRTI

11.1. Dispozicija hale (MJ 1:300)

11.2. Radionički nacrti

11.2.1. Okvir hale (MJ 1:20)

11.2.2. Horizontalni vezovi hale (MJ 1:35)

11.2.3. Detalj A (MJ 1:5)

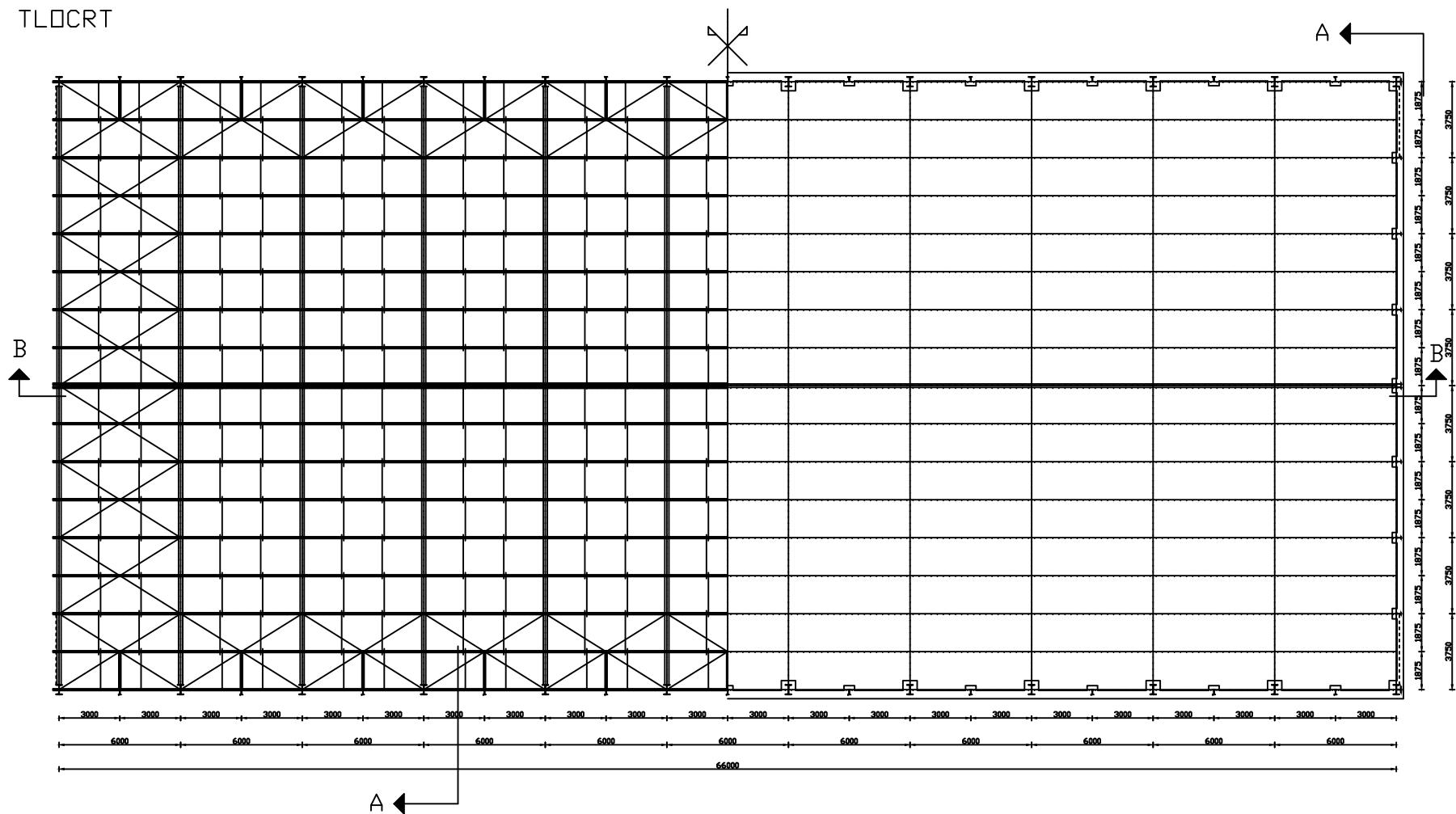
11.2.4. Detalj C (MJ 1:5)

11.2.4. Detalj G (MJ 1:5)

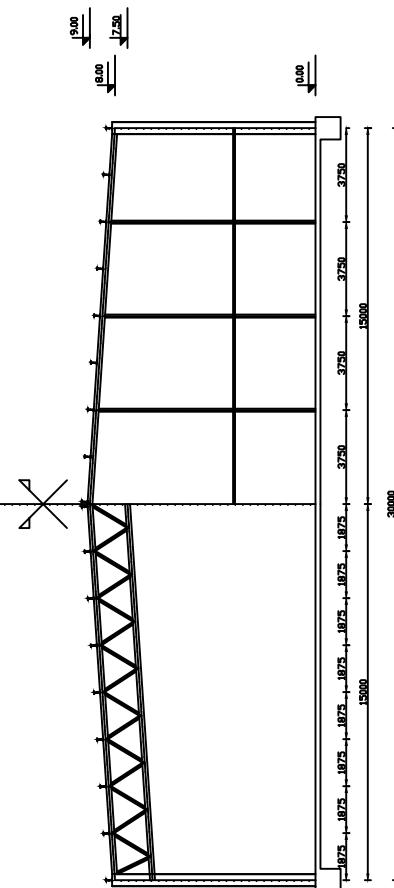
DISPOZICIJA HALI

MJ 1:300

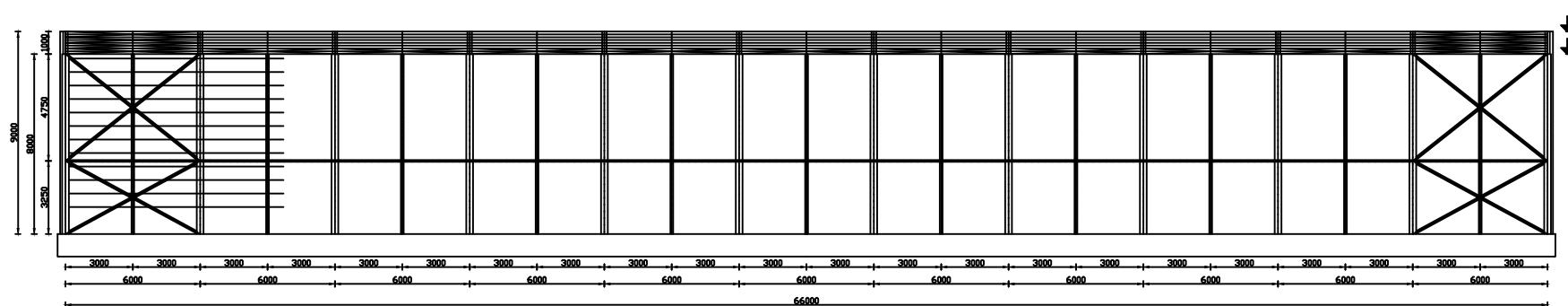
TLOCRT



PRESJEK A-A

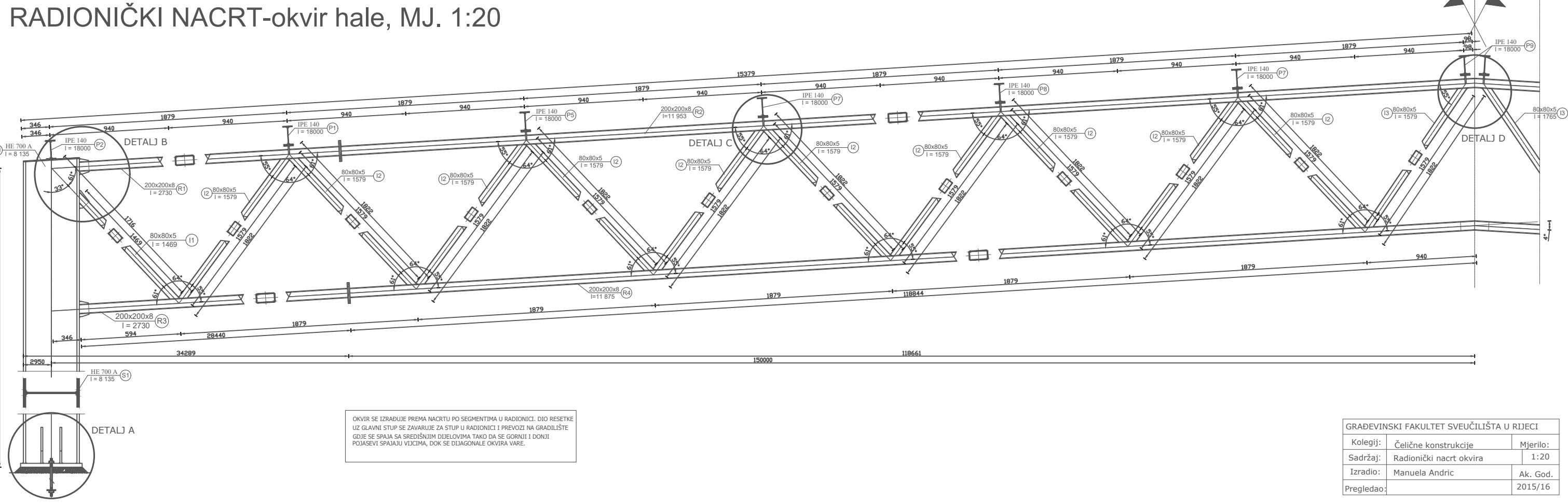


PRESJEK B-B

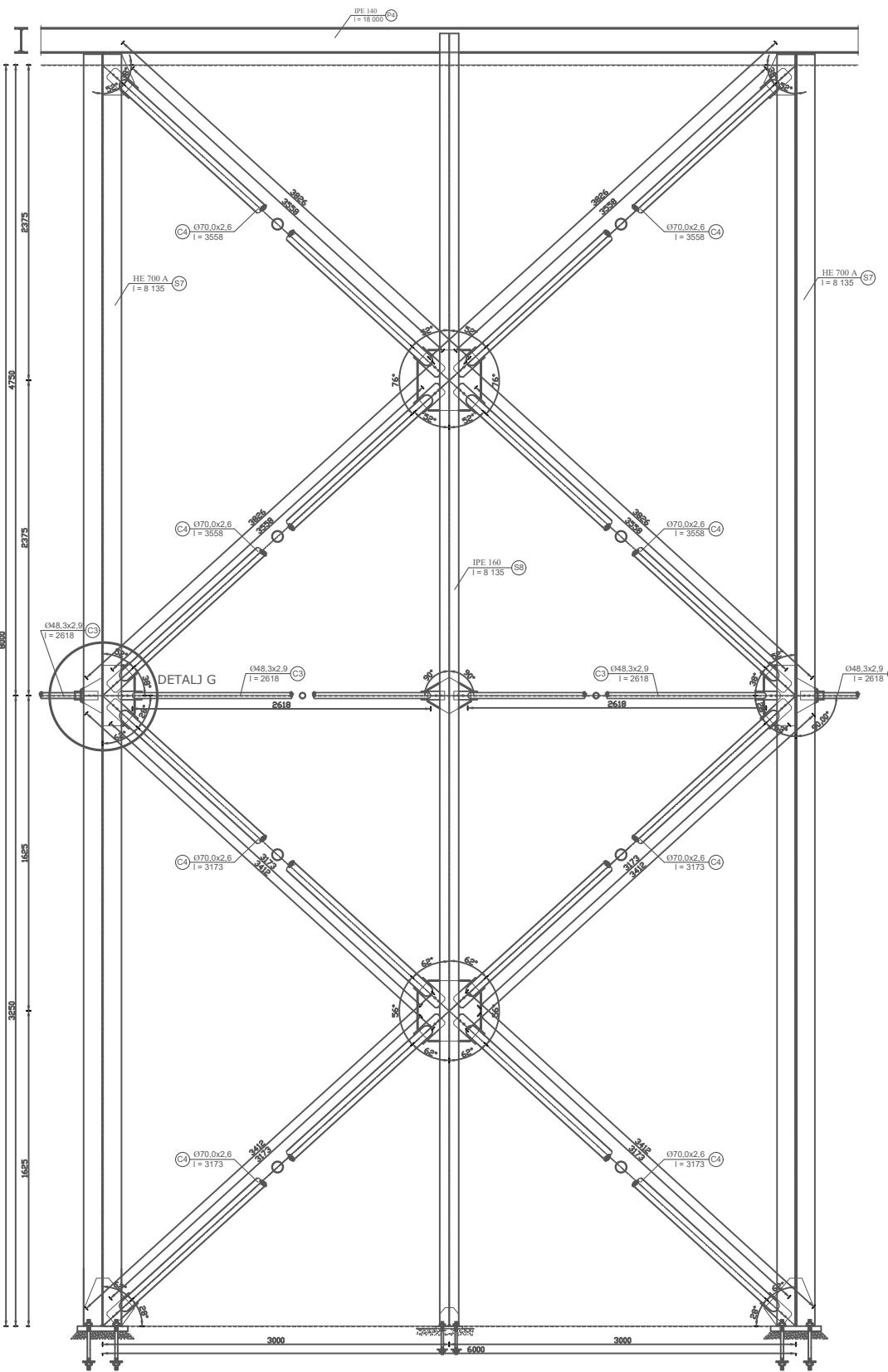


GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
PROGRAMSKI ZADATAK	PROJEKT ČELIČNE KONSTRUKCIJE BR. 13
Student: Manuela Andric	DISPOZICIJA HALE
Kolegij: ČELIČNE KONSTRUKCIJE	
Šk. god.: 2015/2016	
MJERILO: M 1:300	LIST BROJ: 1

RADIONIČKI NACRT-okvir hale, MJ. 1:20

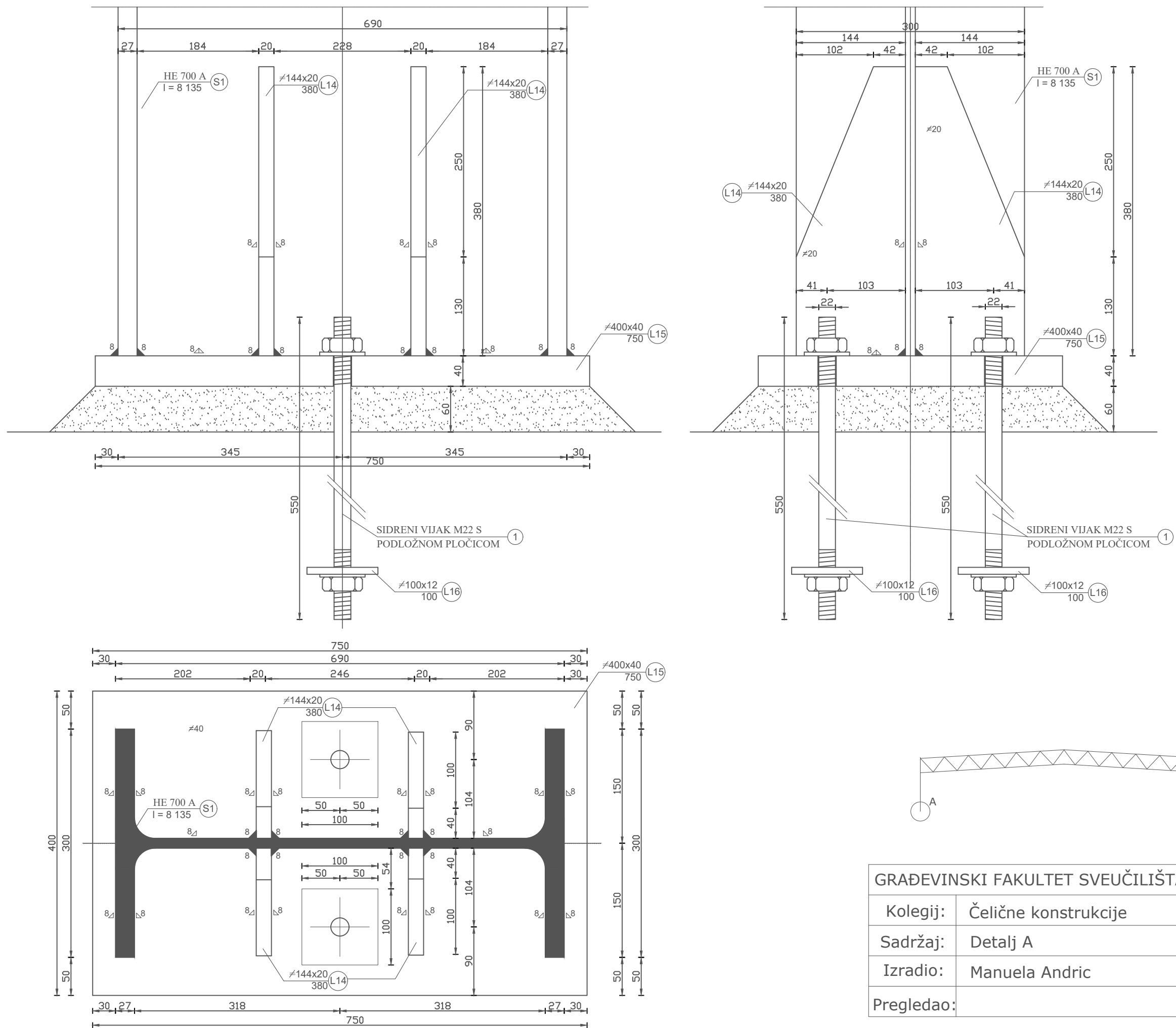


RADIONIČKI NACRT-vertikalni uzdužni vez, MJ. 1:35



GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJEKI		
Kolegij:	Čelične konstrukcije	Mjerilo:
Sadržaj:	Radionički nacrt vert.uzd.veza	1:35
Izradio:	Manuela Andrić	Ak. God.
Pregledao:		2015/16

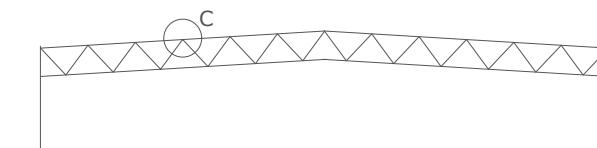
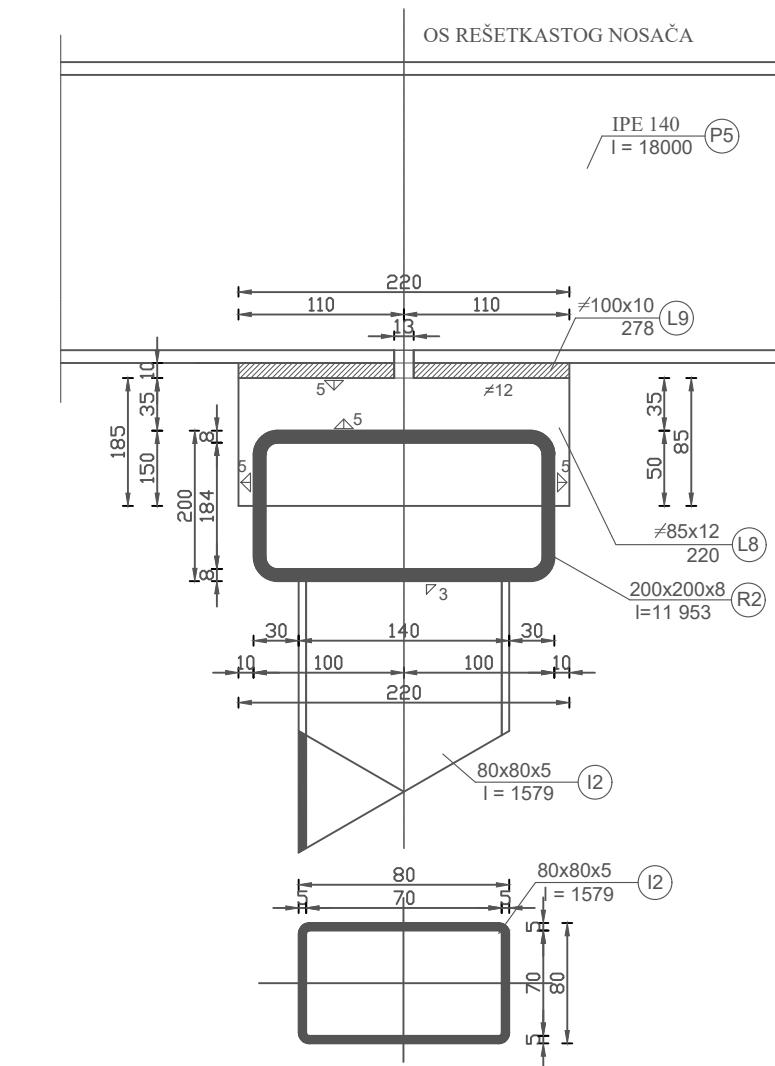
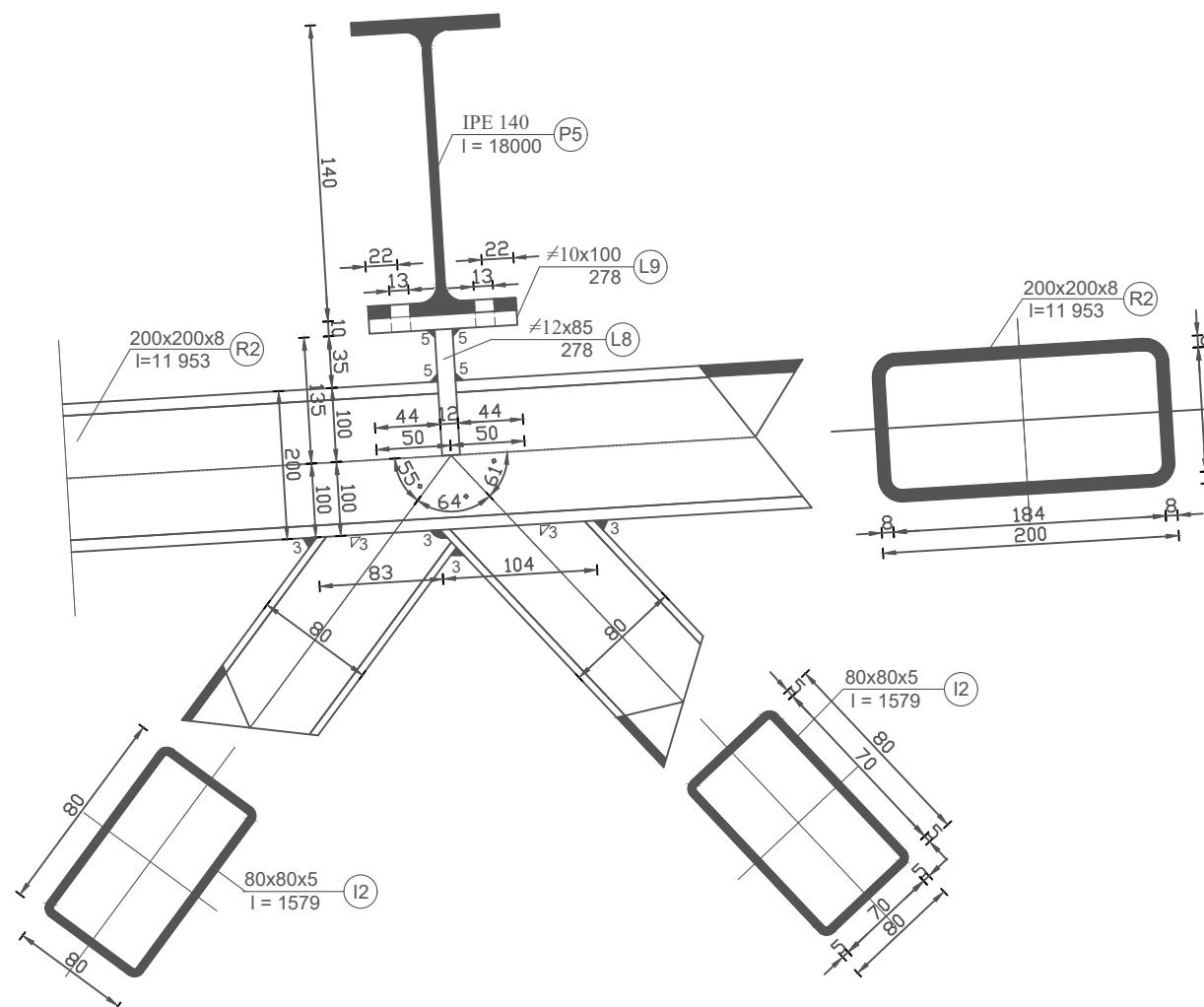
DETALJ A MJ1:5



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI

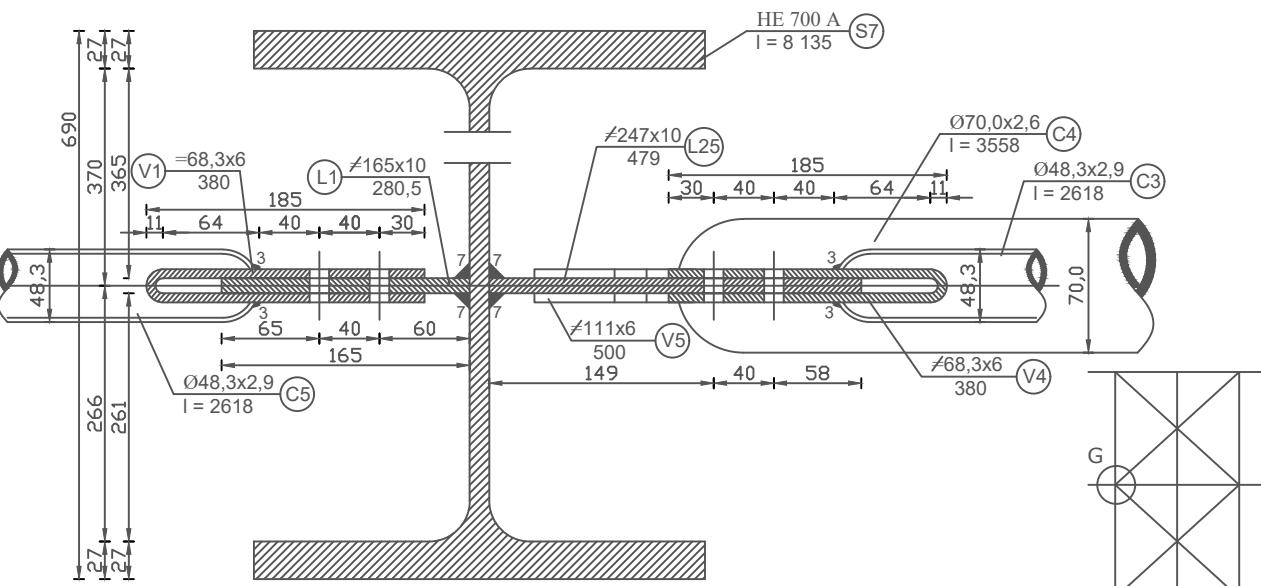
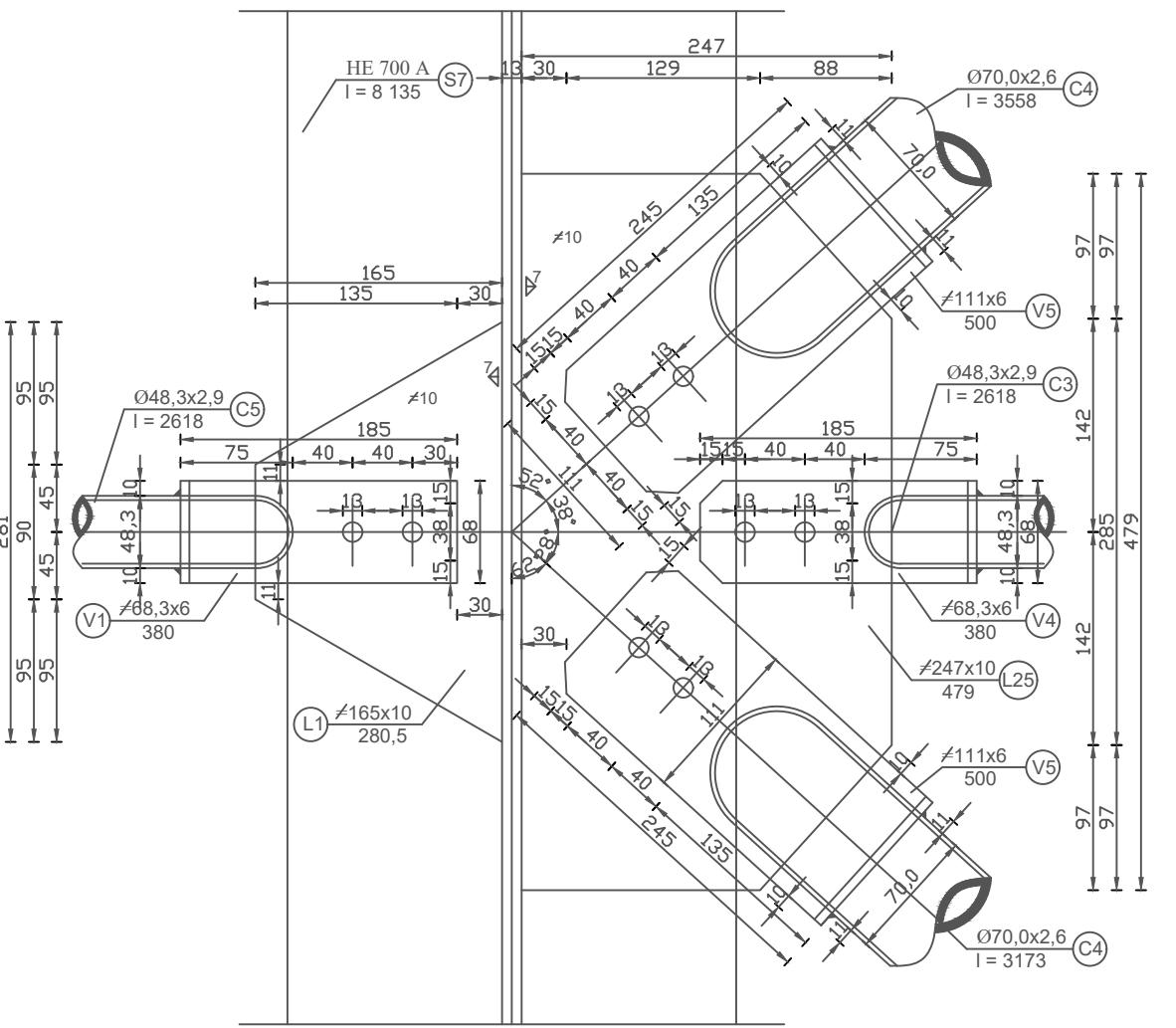
Kolegij:	Čelične konstrukcije	Mjerilo:
Sadržaj:	Detalj A	1:5
Izradio:	Manuela Andric	Ak. God.
Pregledao:		2015/16

DETALJ C MJ1:5



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
Kolegij:	Čelične konstrukcije	Mjerilo:
Sadržaj:	Detalj C	1:5
Izradio:	Manuela Andric	Ak. God.
Pregledao:		2015/16

DETALJ G MJ1:5



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI

Kolegij:	Čelične konstrukcije	Mjerilo:
Sadržaj:	Detalj G	1:5
Izradio:	Manuela Andric	Ak. God.
Pregledao:		2015/16