

# Projektiranje dvobrodne industrijske hale s kranom prema novoj generaciji europske norme

---

**Tomas, Marino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:245086>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marino Tomas

**PROJEKTIRANJE DVOBRODNE  
INDUSTRIJSKE HALE S KRANOM PREMA  
NOVOJ GENERACIJI EUROPSKE NORME**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marino Tomas

**PROJEKTIRANJE DVOBRODNE  
INDUSTRIJSKE HALE S KRANOM PREMA  
NOVOJ GENERACIJI EUROPSKE NORME**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Marino Tomas

**DESIGN OF TWO BAY INDUSTRIAL SINGLE  
STOREY BUILDING WITH CRANE  
ACCORDING TO THE NEW GENERATION  
OF EUROPEAN STANDARD**

MASTER THESIS

Supervisor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević

Zagreb, 2024.

## SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je izrada projekta industrijske dvobrodne hale s kranom prema novoj generaciji europskih normi koje stupaju na snagu narednih godina. Na samom početku napravljena je analiza opterećenja uključujući sva djelovanja na konstrukciju kao što su vlastita težina konstrukcije, pokrova i instalacija, opterećenje od kрана, vjetra, snijega i seizmičkog opterećenja. Sljedeći korak je bio analiza i dimenzioniranje kranske staze na statička opterećenja i umor.

U sljedećem koraku provedena je analiza i dimenzioniranje svih elemenata konstrukcije na granično stanje nosivosti i uporabljivosti te je provedena modalna analiza pri proračunu na potresna djelovanja. Provedena je procjena pouzdanosti konstrukcije i priključaka. Posebna pažnja je posvećena analizi pouzdanosti kranske staze na umor zbog učestalih promjena napona koji se javljaju pri uporabi. Za proračun su korišteni izrazi prema novoj generaciji europske norme za konstrukcije te su u slučaju neke izmjene u odnosu na staru generaciju dodane napomene kako bi se dala konkretna usporedba i upoznalo s promjenama koje će uslijediti stupanjem na snagu nove generacije. U radu su priloženi i nacrti, dispozicijsko rješenje konstrukcije te pregledni nacrti.

**Ključne riječi:** dvobrodna hala, nosač kranske staze, umor, stabilnost konstrukcije, priključci.

## SUMMARY

The goal of this master thesis is to design a two-bay industrial single-storey building with a crane according to the new generation of European standards that comes into force in the next years. In the beginning, load analysis was made including all loads on the structure as self-weight of structure, cover and installations, crane loads, wind loads, snow loads and seismic loads. The next step was the analysis and dimensioning of the crane supporting structure on static forces and fatigue. Further analysis and designing of all structural elements were carried out for ultimate limit states and seismic design situation using modal response spectrum analysis. Reliability verification of structure and joints is conducted. Special attention was dedicated to the assessment of the crane supporting structure regarding fatigue due to many stress ranges during use. A new generation of European standards was used for design verifications and in the case of some changes concerning the old one, notes were added to give specific comparisons and get acquainted with changes that followed with the coming to power of a new European standard. The thesis includes drawings of a disposition of the structure and overview plans.

**Key words:** two bays single-storey building, crane supporting structure, fatigue, stability of structure, joints.

---

## POPIS KRATICA

### Latinična velika slova

$A_v$	posmična površina
$E$	modul elastičnosti
$F_{b,Rd}$	otpornost na pritisak po omotaču rupe
$F_{v,Rd}$	računska otpornost jednog vijka
$F_{w,Rd}$	otpornost zavara
$G_c$	vlastita težina mačke
$H_f$	fiktivna horizontalna sila
$H_L$	horizontalno opterećenje duž kranske staze
$H_s$	horizontalna sila uslijed skošenja kрана
$H_{st}$	visina kata
$H_T$	horizontalna sila uslijed ubrzavanja i usporavanja kрана
$I$	moment tromosti poprečnog presjeka
$I_{rf}$	moment tromosti kombiniranog poprečnog presjeka tračnice i pojasnice s efektivnom širinom $b_{eff}$ oko horizontalne centroidalne osi
$I_T$	torzijska konstanta
$I_u$	intenzitet turbulencije
$I_w$	konstanta krivljenja
$K$	parametar oblika i pogonska sila
$K_{st}$	bočna krutost kata
$L$	raspon
$L_i$	duljina izvijanja
$M_{cr}$	elastični kritični moment bočno torzijskog izvijanja
$M_{N,Rd}$	reducirana otpornost na moment savijanja uz prisutnost momenta torzije

---

$M_t$	moment torzije
$M_{y,Ed}$	računska vrijednost momenta savijanja oko osi y-y
$M_{z,Ed}$	računska vrijednost momenta savijanja oko osi z-z
$N_{b,Rd}$	računska vrijednost otpornosti na izvijanje
$N_{cr}$	elastična kritična sila izvijanja
$N_{c,Rd}$	računska otpornost poprečnog presjeka na tlačnu uzdužnu silu
$N_{Ed}$	računska vrijednost uzdužne sile
$Q_c$	ukupna vlastita težina kрана
$Q_{h,nom}$	nosivost kрана
$S$	statički moment
$T$	povratni period u godinama
$V_{Ed}$	računska vrijednost poprečne sile
$V_{pl,T,Rd}$	smanjena plastična posmična otpornost uz prisutnost momenta torzije
$W_{pl,y}$	plastični moment otpora oko osi y-y
$W_{pl,z}$	plastični moment otpora oko osi z-z

#### Latinična mala slova

$a$	razmak nosača ili debljina zavora
$b$	širina presjeka ili zgrade
$b_{eff}$	efektivna širina
$c$	širina ili visina dijela poprečnog presjeka
$c_{alt}$	koeficijent visine
$c_{dir}$	koeficijent smjera
$c_e$	koeficijent izloženosti
$c_f$	toplinski koeficijent zbog zagrijavanja zgrade
$c_o$	faktor vertikalne razvedenosti



---

$c_{pe}$	koeficijent vanjskog pritiska
$c_{pe,10}$	vanjski detaljni koeficijent pritiska
$c_{prob}$	koeficijent vjerojatnosti
$c_r$	koeficijent hrapavosti
$c_{season}$	koeficijent godišnjeg doba
$c_t$	koeficijent lokalnog savijanja hrpta I presjeka
$d$	širina konstrukcije i duljina površine paralelne smjeru vjetra ako nije drugačije utvrđeno
$d_r$	udaljenost između gornjeg ruba tračnice i gornjeg ruba hrpta
$e$	ekscentričnost sile ili udaljenost od ruba
$e_0$	ekvivalentna imperfekcija luka
$e_1$	udaljenost od sredine pričvršćivača do najbližeg ruba, mjereno paralelno u smjeru prijenosa opterećenja
$f$	dopušteni progib
$\Delta f$	horizontalni pomak uslijed djelovanja $H_f$
$f_M$	koeficijent koji uzima u obzir utjecaj raspodjele momenta savijanja između bočnih pridržanja
$f_{max}$	maksimalni progib
$f_y$	granica popuštanja
$f_{yb}$	čvrstoća popuštanja vijka
$f_{y,red}$	smanjena granica popuštanja
$f_u$	vlačna čvrstoća
$f_{ub}$	vršna vlačna čvrstoća vijka
$h$	visina zgrade ili poprečnog presjeka
$h_r$	visina kranske staze
$h_w$	visina hrpta
$i$	radijus tromosti
$k$	korekcijski faktor za otpornost neto poprečnog presjeka
$k_c$	korekcijski faktor raspodjele momenta

---

$k_i$	koeficijent turbulencije
$k_r$	koeficijent terena
$k_u$	vršni koeficijent turbulencije
$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$	interakcijski faktori za pojedine elemente pri savijanju i uzdužnoj tlačnoj sili
$k_w$	interakcijski faktor za pojedini element u savijanju, uzdužnoj tlačnoj sili i torziji pokrivajući utjecaj dvoosnog momenta
$l_{eff}$	efektivna duljina
$l_{min}$	minimalni razmak od kuke do osi nosača kranske staze
$l_s$	razmak između točke težišta sustava i osi vožnje
$m_w$	broj kotača s pojedinačnim pogonom
$n_r$	broj nosača kranske staze
$p$	godišnja vjerojatnost prekoračenje
$q$	faktor ponašanja
$q_c$	opterećenje od kranskog nosača
$q_p$	vršni tlak brzine
$r$	radijus zakrivljenosti
$s$	opterećenje snijegom na krovu
$s_k$	karakteristično opterećenje snijegom na tlu
$s_s$	duljina krutog ležaja
$t$	debljina
$t_f$	debljina pojasnice
$t_w$	debljina hrpta
$v_b$	osnovna brzina vjetra
$v_{b,o}$	temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra
$v_h$	brzina dizanja tereta
$v_m$	vršna vrijednost brzine
$z_e$	referentna visina za vanjsko djelovanje vjetra

---

## Grčka velika slova

- $\Phi_i$  dinamički faktori ( $i= 1,2,3,4,6,7$ ) pridodani djelovanjima kрана
- $\Phi$  početna imperfekcija
- $\Phi_0$  osnovna vrijednost imperfekcija

## Grčka mala slova

- $\alpha$  kut nagiba krova
- $\alpha_{cr,ns}$  koeficijent kojim računске vrijednosti opterećenja moraju biti uvećane da prouzroče elastičnu nestabilnost u ravnini ili izvan ravnine pri izvijanju
- $\alpha_{cr,sw}$  koeficijent kojim računске vrijednosti opterećenja moraju biti uvećane da prouzroče elastičnu nestabilnost u globalnom, pomičnom modu
- $\alpha_v$  koeficijent redukcije posmične otpornosti
- $\gamma_{Ff}$  parcijalni koeficijent raspona ekvivalentne konstantne amplitude naprezanja
- $\gamma_{M0}$  parcijalni koeficijent za otpornost poprečnog presjeka
- $\gamma_{M1}$  parcijalni koeficijent za vijaka, zakovica, trnova u graničnom stanju nosivosti, zavara i ploča
- $\gamma_{M2}$  parcijalni koeficijent za otpornost elementa uzrokovana slomom
- $\delta_g$  ravninski progib rešetke
- $\varepsilon$  parametar materijala ovisan o  $f_y$
- $\eta$  koeficijent posmičnog područja
- $\bar{\lambda}$  svedena vitkost
- $\overline{\lambda}_{LT}$  relativna vitkost za bočno torzijsko izvijanje
- $\lambda_y$  koeficijent efekta dvoosnog savijanja
- $\lambda_z$  koeficijent efekta dvoosnog savijanja
- $\lambda_1$  referentna vitkost za određivanje relativne vitkosti

---

$\mu$	faktor trenja između kotača i tračnice
$\mu_i$	koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu, prema tipu i nagibu krova
$\mu_2$	koeficijent oblika opterećenja snijegom na jednostrešne i dvostrešne krovove
$\mu_{2,b}$	koeficijent oblika opterećenja snijegom za dvostrešne krovove
$\mu_{2,w}$	koeficijent oblika opterećenja snijegom uzimajući u obzir snijeg nanesen naletima vjetra
$\mu_3$	koeficijent oblika opterećenja snijegom na višestrešne krovove
$\rho$	gustoća zraka
$\Delta\sigma_{Ed}$	ekvivalentno normalno naprezanje za $2 \cdot 10^6$ ciklusa
$\sigma_{oz,Ed}$	normalno naprezanje uslijed koncentrirane sile kotača
$\Delta\tau$	raspon ekvivalentnog posmičnog naprezanja za $2 \cdot 10^6$ ciklusa
$\Delta\tau_c$	referentna vrijednost čvrstoće umora za posmično naprezanje za $2 \cdot 10^6$ ciklusa
$\tau_{t,Ed}$	računska vrijednost posmičnog naprezanja
$\nu$	Poissonov koeficijent
$\chi$	redukcijski koeficijent za izvijanje
$\Psi$	udio krajnjih momenata u dijelu grede ili udio naprezanja

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>i</b>
<b>POPIS KRATICA</b> .....	<b>ii</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tehnički opis konstrukcije .....	1
1.1.1 Krov .....	1
1.1.2 Prečka okvira .....	1
1.1.3 Stupovi okvira.....	1
1.1.4 Stabilizacijski vezovi .....	1
1.1.5 Kran.....	1
1.2 Proračun konstrukcije .....	2
1.3 Materijali za izradu konstrukcije.....	2
1.4 Primijenjene norme.....	2
1.5 Antikorozijska zaštita .....	2
1.6 Protupožarna zaštita.....	3
<b>2 METODE I TEHNIKE RADA</b> .....	<b>4</b>
<b>3 ANALIZA OPTEREĆENJA</b> .....	<b>5</b>
3.1. Stalna djelovanja.....	5
3.2. Opterećenje snijegom .....	5
3.1 Opterećenje vjetrom .....	8
3.1.1 Slučaj 1 – vjetar puše na uzdužnu stranu objekta $c_{pi} = +0,2$ .....	10
3.1.2 Slučaj 2 – vjetar puše na uzdužnu stranu objekta $c_{pi} = -0,3$ .....	20
3.1.3 Slučaj 3 – vjetar puše na poprečnu stranu objekta $c_{pi} = +0,2$ .....	29

---

3.1.4	Slučaj 4 – vjetar puše na poprečnu stranu objekta $c_{pi} = -0,3$ .....	37
<b>4</b>	<b>OPTEREĆENJE OD KRANSKE STAZE .....</b>	<b>45</b>
4.1	Osnovni podaci.....	45
4.1.1	Skupine opterećenja 1 i 2 .....	48
4.1.2	Skupine opterećenja 3, 4, 5.....	50
4.1.3	Skupina opterećenja 1.....	51
4.1.4	Skupina opterećenja 2.....	52
4.1.5	Skupine opterećenja 4, 5.....	53
4.2	Horizontalna opterećenja .....	54
4.3	Proračun unutarnjih sila i momenata savijanja.....	61
4.3.1	Za najveće vertikalno pokretno opterećenje $Q_{r,max} = 249,08$ kN.....	65
4.3.2	Za najmanje vertikalno pokretno opterećenje $Q_{r,max} = 202,43$ kN .....	65
4.3.3	Za horizontalno uzdužno pokretno opterećenje $H_{L1} = 6,74$ kN .....	66
4.3.4	Za horizontalno bočno pokretno opterećenje $H_{T2} = 26,71$ kN .....	67
4.3.5	Za horizontalno bočno pokretno opterećenje uslijed skošenja kрана $H_{S,1T} = 25,80$ kN.....	67
4.3.6	Moment torzije zbog ekscentričnosti opterećenja.....	68
4.4	Preliminarno dimenzioniranje (GSU) .....	70
4.5	Dimenzioniranje kranske staze.....	71
4.6	Gnječenje "Crushing resistance" i "Crippling" hrpta .....	77
4.7	Globalno izbočavanje hrpta.....	79
4.8	Dokaz zavara na spoju hrbat-pojasnica .....	81
4.9	Normalna naprezanja uslijed koncentrirane sile od tračnica.....	81
4.10	Normalna naprezanja (poprečno na os vara) uslijed torzije pojasnice .....	83
4.11	Dokaz nosača kranske staze na GSU .....	85
4.12	Dokaz otpornosti na umor .....	85
<b>5</b>	<b>PRORAČUN KONZOLNOG NOSAČA.....</b>	<b>91</b>
5.1	Analiza opterećenja.....	91

---

5.2	Dimenzioniranje konzolnog nosača.....	93
<b>6</b>	<b>PRORAČUN PODROŽNICE.....</b>	<b>103</b>
6.1	Analiza opterećenja.....	103
6.2	Kombinacije djelovanja .....	105
6.3	Proračun unutarnjih sila i momenata savijanja.....	106
6.4	Preliminarno dimenzioniranje (GSU) .....	108
6.5	Dimenzioniranje podrožnice.....	109
<b>7</b>	<b>DIMENZIONIRANJE OKVIRA.....</b>	<b>128</b>
7.1	Statički sustav .....	128
7.2	Analiza opterećenja.....	128
7.3	Imperfekcije okvira.....	135
7.4	Reakcije na ležajevima .....	137
7.5	Kombinacije djelovanja .....	138
7.6	Klasifikacija okvira.....	144
7.7	GSU – provjera vertikalnih i horizontalnih progiba.....	150
7.8	Dijagrami mjerodavnih vrijednosti za dimenzioniranje .....	152
7.9	Dimenzioniranje okvira .....	154
7.9.1	Element ispune (tlačni).....	154
7.9.2	Element ispune (vlačni).....	156
7.9.3	Gornji pojas rešetke .....	157
7.9.4	Donji pojas rešetke.....	160
7.9.5	Stup okvira (vanjski).....	163
7.9.6	Stup okvira (unutarnji).....	176
<b>8</b>	<b>PRORAČUN STABILIZACIJSKIH VEZOVA.....</b>	<b>189</b>
8.1	Horizontalni poprečni vez.....	189
8.1.1	Proračun unutarnjih sila i deformacija.....	191
8.1.2	Dimenzioniranje dijagonale horizontalnog poprečnog sprega.....	192
8.2	Horizontalni uzdužni vez .....	194

---

8.2.1	Proračun unutarnjih sila i deformacija.....	196
8.2.2	Dimenzioniranje dijagonale horizontalne uzdužne stabilizacije .....	197
8.2.3	Dimenzioniranje vertikalne horizontalne uzdužne stabilizacije .....	199
8.3	Vertikalni uzdužni vez.....	201
8.3.1	Proračun unutarnjih sila i deformacija.....	203
8.3.2	Dimenzioniranje dijagonale vertikalnog uzdužnog veza.....	205
<b>9</b>	<b>PRORAČUN SEKUNDARNIH STUPOVA.....</b>	<b>208</b>
9.1	Analiza opterećenja i proračun unutarnjih sila – stup na zabatnoj stijeni .....	208
9.1.1	Analiza opterećenja.....	208
9.1.2	Dimenzioniranje .....	211
9.1.3	Kontrola progiba (GSU).....	220
9.2	Analiza opterećenja i proračun unutarnjih sila – stup na uzdužnoj stijeni.....	221
9.2.1	Analiza opterećenja.....	221
9.2.2	Dimenzioniranje .....	224
9.2.3	Kontrola progiba (GSU).....	233
<b>10</b>	<b>ANALIZA KONSTRUKCIJE NA POTRESNO DJELOVANJE .....</b>	<b>234</b>
10.1	Općenito.....	234
10.2	Osnovni podaci .....	234
10.3	Modalna analiza .....	234
10.4	Rezultati spektralne analize .....	237
<b>11</b>	<b>DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA .....</b>	<b>240</b>
11.1	Priključak vlačno-tlačne dijagonale horizontalnog uzdužnog sprega .....	240
11.2	Priključak vlačno-tlačne dijagonale horizontalnog poprečnog sprega.....	244
11.3	Priključak vlačno-tlačne dijagonale vertikalnog uzdužnog sprega.....	247
11.4	Rešetkasta prečka okvira.....	250
11.5	Nastavak gornjeg pojasa.....	251
11.6	Nastavak donjeg pojasa.....	260
11.7	Nastavak elementa ispune .....	270



---

11.8	Spoj stope glavnog stupa.....	272
11.9	Spoj stope sekundarnog stupa.....	287
11.9.1	Welds between the column and the base plate.....	297
12	<b>ISKAZ MATERIJALA .....</b>	<b>299</b>
13	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>302</b>
14	<b>LITERATURA.....</b>	<b>303</b>
15	<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>305</b>
16	<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>311</b>
17	<b>PRILOZI.....</b>	<b>313</b>

# 1 UVOD

## 1.1 Tehnički opis konstrukcije

Tlocrtna dimenzija dvobrodne hale s kranom iznose 2 x 25 x 100 m. Visina sljemena hale je 14,585 m iznad kote tla, dok visina stupova iznosi 12 m. Visina gornjeg ruba kranske staze je 8,6 m. Glavni nosivi sustav je izveden dvozglobnim okvirima s rešetkastom prečkom.

### 1.1.1 Krov

Krov je dvostrešan s nagibom 10°. Pokrov je izveden od termoizolacijskih panela raspona 2,115 m. Također je termoizolacijskim panelima izvedena vanjska obloga. Za podrožnice su predviđeni profili IPE 200 na razmaku 2,115 m koje su smještene na gornji pojas glavnog nosača i pridržane zatezaljkama.

### 1.1.2 Prečka okvira

Prečka okvira je rešetkasta raspona 25 m s kosim gornjim i donjim pojasevima postavljenim pod kutem od 10°. Gornji i donji pojas su profili HEA 180, a ispuna SHS 60x60x4.

### 1.1.3 Stupovi okvira

Stupovi su izvedeni od profila HEA 700 te se nalaze na desnom i lijevom rubu te u sredini hale na razmacima od 7,143 m i visine su 12 m. Sekundarni stupovi su smješteni na vanjskim rubovima hale te im visine variraju od 12 do 13,47 m.

### 1.1.1 Stabilizacijski vezovi

Vezovi su izvedeni vlačno-tlačnim dijagonalama. U krovnoj ravnini postavljeni su horizontalni uzdužni i poprečni vezovi koji služe kao stabilizacija krovne ravnine. Priključuju se na podrožnice čime se opterećenja prenose na njih. Horizontalni uzdužni vez je izveden od profila CHS 70 x 4, a horizontalni poprečni od profila 127x5. Za vertikalnu stabilizaciju je predviđen vertikalni uzdužni vez profila CHS 244,5 x 10.

### 1.1.4 Kran

Izvedena su dva krana nosivosti 350 kN. Gornja visina kranske staze je 8,6 m. Kranska staza

je izvedena od profila HEA 450 statičkog sustava kontinuiranog nosača s 14 raspona od 7,143 m. Konzolni nosači na koje se oslanja kranska staza izvedeni su od profila HEA 240.

## 1.2 Proračun konstrukcije

Proračun unutarnjih sila, momenata savijanja i dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije provedeno je u skladu s novom i gdje nije bilo moguće starom verzijom europske norme.

Odabir odgovarajućeg pokrova, te obloga za stijene, u ovom slučaju termoizolacijskih panela, provedena je prema uvjetima za krajnje granično stanje i granično stanje uporabivosti na temelju tablica nosivosti danih od proizvođača, koje su ovjerene od odgovarajuće ustanove.

Svi glavni nosivi elementi čelične konstrukcije razmatrani su kao ravninski sustavi. Analiza konstrukcije provedena u programu Robot Structural Analysis Professional 2023.

## 1.3 Materijali za izradu konstrukcije

Elementi nosive čelične konstrukcije izrađeni su od čelika S 355

Vijci 8.8

## 1.4 Primijenjene norme

Eurocode 1 (starija i novija generacija norme)

Eurocode 3 (starija i novija generacija norme)

Eurocode 8 (starija i novija generacija norme)

## 1.5 Antikorozijska zaštita

Elementi čelične konstrukcije hale radionički se štite s jednim temeljnim premazom na prethodno opjeskarenoj podlozi do čistoće Sa 2<sup>1/2</sup>. Nakon završene montaže potrebno je popraviti sva oštećenja temeljnog radioničkog premaza. Nakon odmaščivanja površine nanosi se drugi temeljni premaz. Debljina temeljnih premaza na organskoj osnovi iznosi 2×30 μm. Završna obrada propisana je prikazom mjera zaštite od požara sredstvima s karakteristikom R30.

## 1.6 Protupožarna zaštita

Zahtijevana vatrootpornost elemenata čelične konstrukcije je R30. Stoga se na podlogu od dva temeljna premaza nanosi zaštitno protupožarno sredstvo s karakteristikom vatrootpornosti R30 te kompatibilno sa temeljnom antikorozijskom zaštitom.

## 2 METODE I TEHNIKE RADA

Cilj ovog diplomskog rada je napraviti projekt dvobrodne hale s kranom prema novim normama te će se dati usporedba novih i starih normi kroz samu provedbu proračuna. Kao izvor su korištene norme sadašnje i nove generacije koje još nisu stupile na snagu kao glavna literatura uz pridržavanje pravila koja su propisana u istima. Pri tom su korišteni i razni programski paketi za pisanje rada i provedbu proračuna kao što su Microsoft word, excel, Autodesk CAD i Robot Structural Analysis 2023.

### 3 ANALIZA OPTEREĆENJA

#### 3.1. Stalna djelovanja

Vlastita težina konstrukcije

Vlastita težina pokrova (Panel deck): 0,102 kN/m<sup>2</sup>

Težina instalacija: 0,30 kN/m<sup>2</sup>

#### 3.2. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na krovu dobiva se prema izrazu:

$s = s_k \cdot \mu_i \cdot c_t$ , gdje je:

**(NAPOMENA: prema starim normama  $s = s_k \cdot \mu_i \cdot c_t \cdot c_e$ )**

$s_k$  karakteristično opterećenje snijegom na tlu

$\mu_i$  koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu, prema tipu i nagibu krova

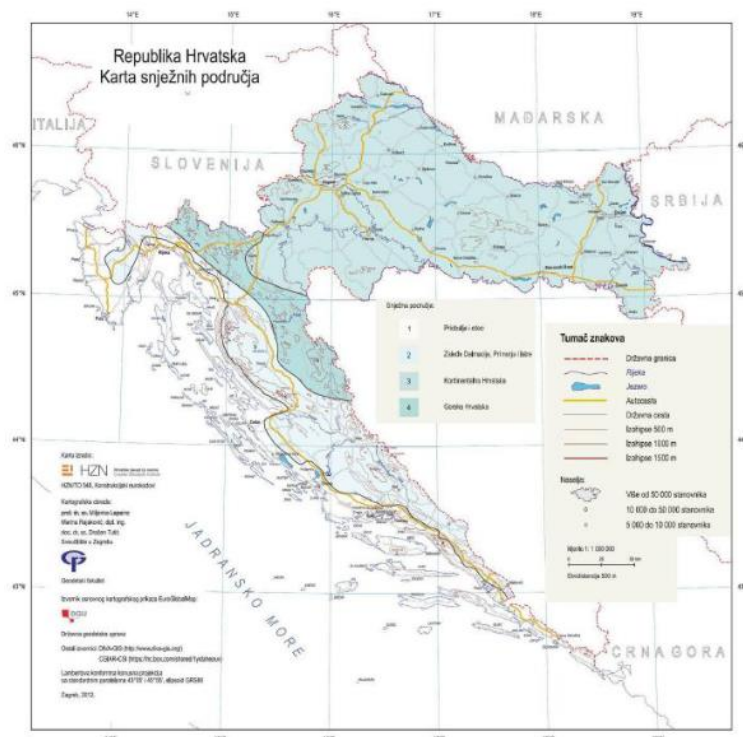
$$\mu_i = 0,8 \quad (0^\circ < \alpha < 30^\circ)$$

$c_e$  koeficijent izloženosti (uglavnom  $c_e = 1$ ), uzima u obzir teže uvjete puhanja vjetra, u novim normama nije prisutan u izrazu

$c_t$  toplinski koeficijent zbog zagrijavanja zgrade (uglavnom  $c_t = 1$ ) uzima u obzir termičku izolaciju krova

Opterećenje snijegom određuje se prema geografskoj lokaciji i nadmorskoj visini

**(NAPOMENA: očitano sa karte iz starije generacije norme)**



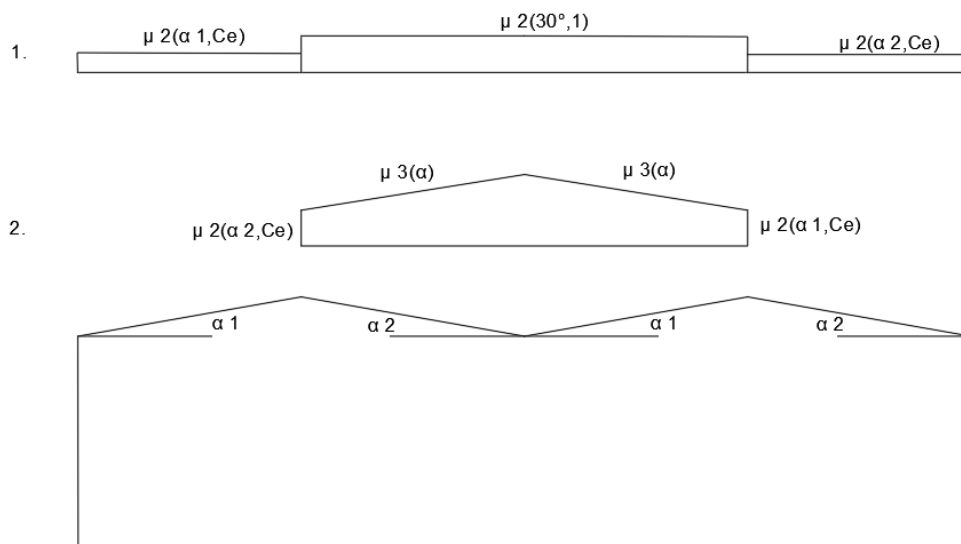
Slika 1.: Karta snježnih područja Republike Hrvatske (Izvor: [1])

Hala se nalazi u zoni III (očitano sa slike 1.) i nadmorskoj visini 100 m:  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (očitano iz tablice 1.)

Tablica 1.: Karakteristična opterećenja snijegom na tlu za različite nadmorske visine i geografske lokacije (Izvor: [1])

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00
1300	5,00	7,00		7,00
1400	6,00	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		

Opterećenje snijegom:



Slika 2.: Shema opterećenja snijegom s nagomilavanjem i bez nagomilavanja

Slučaj 1. opterećenje snijegom bez nagomilavanja

$$\mu_2(\alpha, C_e) = \mu_{2,b}(\alpha, C_e) \text{ za slučaj 1}$$

$$\mu_{2,b}(\alpha, C_e) = 0,8 \cdot C_e \text{ za } 5^\circ < \alpha \leq 30^\circ, \text{ a za } C_e = 1 \text{ očitano sa grafa } \mu_{2,b}(C_e = 1) = 0,84$$

$$\mu_{2,b}(\alpha, C_e) = 0,84$$

**(NAPOMENA: prema staroj normi  $\mu_2 = 0,8 + 0,8 \cdot (\alpha/30) = 0,8 + 0,8 \cdot (10/30) = 1,067$  jer je  $\alpha = 10^\circ$ )**

$$s = s_k \cdot \mu_2 \cdot C_t = 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,0 = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

Slučaj 2. opterećenje snijegom s nagomilavanjem

$$\mu_2(\alpha, C_e) = \mu_{2,b}(\alpha, C_e) + \mu_{2,w}(\alpha, C_e) \text{ za slučaj 2}$$

$$\mu_{2,b}(\alpha, C_e) = 0,8 \cdot C_e \text{ za } 5^\circ < \alpha \leq 30^\circ, \text{ a za } C_e = 1 \text{ očitano sa grafa } \mu_{2,b}(C_e = 1) = 0,84$$

$$\mu_{2,b}(\alpha, C_e) = 0,84$$

$$\mu_{2,w}(\alpha, C_e) = (\delta/25^\circ) \cdot (6 - 5C_e) \cdot (\alpha - 5^\circ) \text{ za } 5^\circ < \alpha \leq 30^\circ, \text{ pri čemu je } \delta = 0,16$$

$$\mu_{2,w}(\alpha, C_e) = (0,16/25^\circ) \cdot (6 - 5 \cdot 1) \cdot (10^\circ - 5^\circ) = 0,032$$



$$\mu_2(\alpha, C_e) = 0,84 + 0,032 = 0,872$$

$$\mu_3 = 0,9 + 0,7 \cdot (\alpha/30), \text{ ali } \mu_3 \leq (\gamma \cdot h)/(C_e \cdot s_k) \leq \mu_{3\max} \text{ za } \gamma = 2 \text{ kN/m}^3 \text{ i } \mu_{3\max} = 1,6$$

$$\mu_3 = 0,9 + 0,7 \cdot (\alpha/30) = 0,9 + 0,7 \cdot (10/30) = 1,13$$

$$1,13 \leq (2 \cdot 1,58)/(1 \cdot 1) = 3,16 \leq 1,6$$

$$\mu_3 = 1,13$$

**(NAPOMENA: prema staroj normi  $\mu_2 = 0,8 + 0,8 \cdot (\alpha/30) = 0,8 + 0,8 \cdot (10/30) = 1,067$  jer je  $\alpha = 10^\circ$ , a  $\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot (h/b) = 0,8 + 10 \cdot (12/50) = 0,96$  za  $\bar{\alpha} = (\alpha_1 + \alpha_2)/2 = (10 + 10)/2 = 10^\circ$ )**

$$s = s_k \cdot \mu_2 \cdot C_t = 1,0 \cdot 0,872 \cdot 1,0 = 0,872 \text{ kN/m}^2$$

$$s = s_k \cdot \mu_3 \cdot C_t = 1,0 \cdot 1,13 \cdot 1,0 = 1,13 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

### 3.1 Opterećenje vjetrom

Osnovna brzina vjetra:  $v_b = C_{\text{prob}} \cdot C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot C_{\text{alt}} \cdot v_{b,0}$  gdje je:

$C_{\text{dir}}$  koeficijent smjera vjetra,  $C_{\text{dir}} = 1$

$C_{\text{season}}$  koeficijent godišnjeg doba,  $C_{\text{season}} = 1$

$v_{b,0}$  temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra, određuje se iz karte vjetrova

$C_{\text{alt}}$  koeficijent visine  $C_{\text{alt}} = 1$

$C_{\text{prob}}$  koeficijet vjerojatnosti

$$C_{\text{prob}} = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(T)}{1 - K \cdot \ln(50)} \right)^n \text{ gdje je:}$$

$K$  parametar oblika ovisno o koeficijentu varijacije ekstremne vrijednosti distribucije

$$K = 0,2$$

$n$  eksponent  $n = 0,5$

$p$  godišnja vjerojatnost prekoračenja

$T$  povratni period u godinama gdje je  $T > 1$

$$C_{\text{prob}} = \left( \frac{1 + K \cdot \ln(T)}{1 + K \cdot \ln(50)} \right)^n = \left( \frac{1 - 0,2 \cdot \ln(50)}{1 - 0,2 \cdot \ln(50)} \right)^{0,5} = 1$$



Slika 3.: Karta osnovne brzine vjetra Republike Hrvatske (Izvor: [3])

Za lokaciju Ivanić-Grad, očitana je osnovna brzina vjetra  $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ .

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 = 20 \text{ m/s}$$

**(NAPOMENA: u starim normama  $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{bp}$ )**

Tlak pri osnovnoj brzini vjetra:

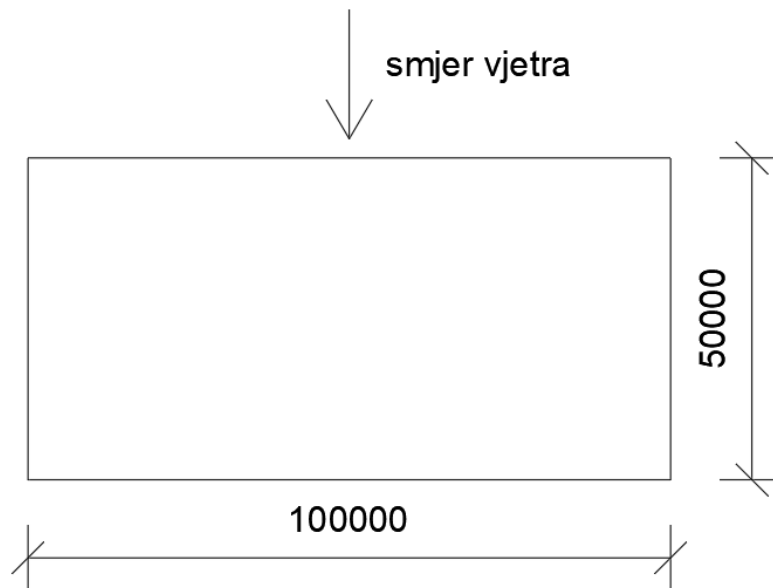
$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \text{(NAPOMENA: isti izraz kao u starim normama)}$$

$\rho$  ... gustoća zraka,  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 250 \text{ N/m}^2$$

$$q_b = 0,250 \text{ kN/m}^2$$

### 3.1.1 Slučaj 1 – vjetar puše na uzdužnu stranu objekta $c_{pi} = +0,2$



Slika 4.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 1

Vanjski tlak

Vanjski tlak na vertikalne stijene

Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 100,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

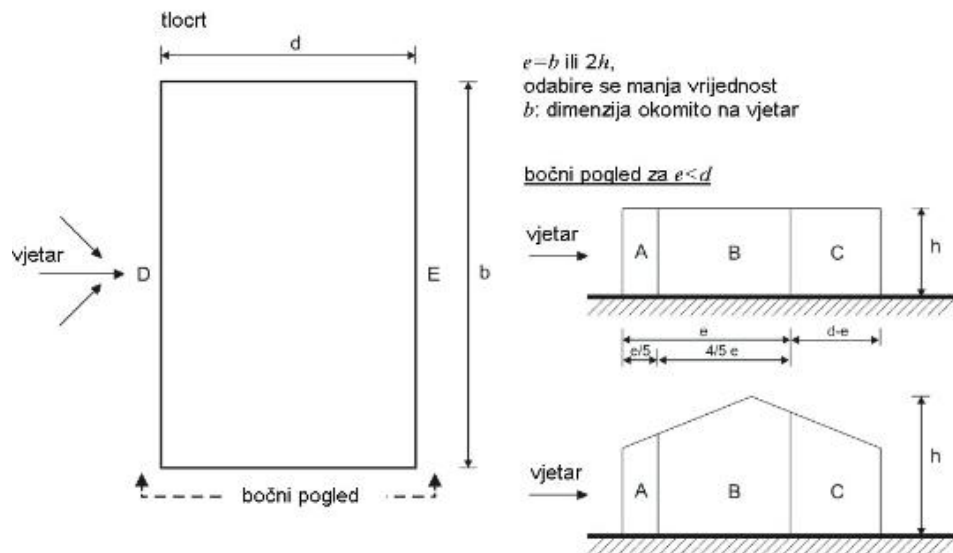
$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

Koeficijent tlaka na vertikalne stijene

$$e = \min(b; 2h) = \min(100; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 50,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 50,0 = 0,24$$



Slika 5.: Legenda za vertikalne zidove (Izvor: [3])

(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)

$$\text{Površina (A)} = 59,78 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$$

$$\text{Površina (B)} = 255,82 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$\text{Površina (C)} = 11,83 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\text{Površina (D)} = b \cdot h = 100,0 \cdot 12 = 1200,0 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,8$$

$$\text{Površina (E)} = b \cdot h = 100,0 \cdot 12 = 1200,0 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,7$$

### Koeficijent izloženosti

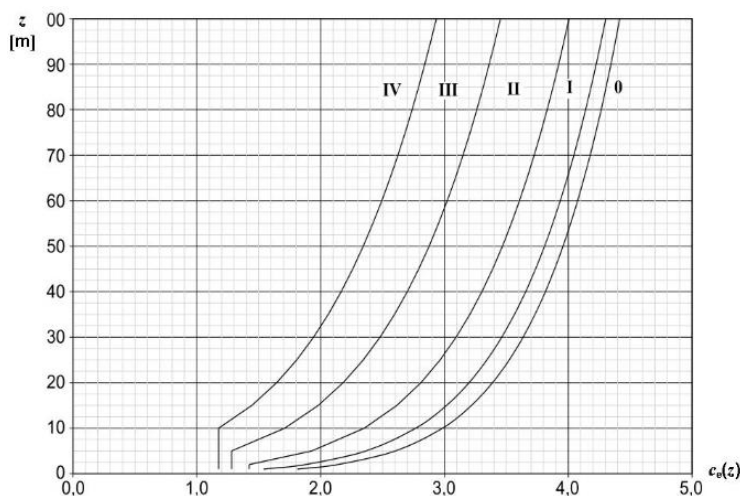
Tablica 2.: Kategorije terena i parametri tla ( Izvor: [2])

Kategorija terena		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezeru ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivena zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

(NAPOMENA: korištena tablica iz starih normi, ista kao u novim)

Teren II kategorije – slaba vegetacija- pojedine zapreke s razmakom najmanje 20 visina zapreke



Slika 6.: Grafički prikaz koeficijenta izloženosti (Izvor: [3])

**(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)**

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b$ )**

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z))$$

$k_u$  vršni faktor turbulencije,  $k_u = 2,8$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$c_r(z)$  faktor hrapavosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_r$  faktor terena ovisan o hrapavosti

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

$$I_u(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_I$  faktor turbulencije  $k_I = 1$

$c_o(z)$  faktor vertikalne razvedenosti, za ravne terene  $c_o(z) = 1$

$$I_u(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right)} = 0,271$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z)) = 15,8 \cdot (1 + 2,8 \cdot 0,271) = 27,79 \text{ m/s}$$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,79 \cdot 1 \cdot 20 = 15,8 \text{ m/s}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right) = 0,79$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

### Djelovanje vjetra na vertikalne površine

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^A = 0,483 \cdot (-1,2) = -0,580 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^B = 0,483 \cdot (-0,8) = -0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^C = 0,483 \cdot (-0,5) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^D = 0,483 \cdot (+0,8) = +0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^E = 0,483 \cdot (-0,7) = -0,338 \text{ kN/m}^2$$

### Vanjski tlak na krovnu plohu

#### Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 100,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

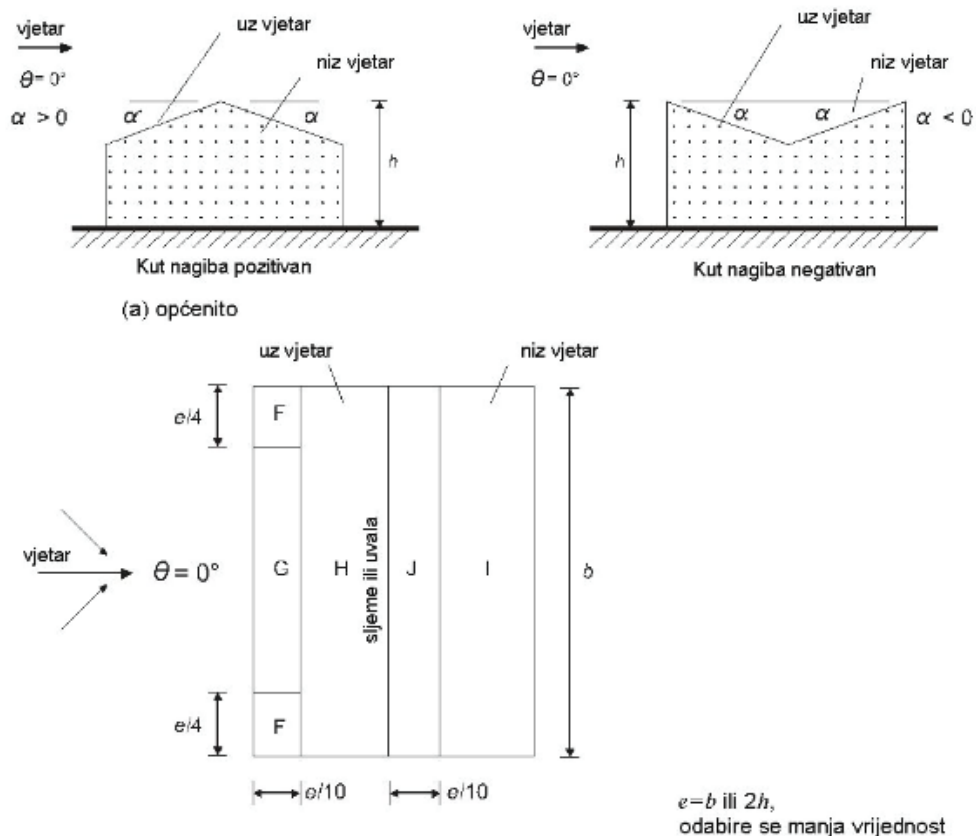
$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

Koeficijenti tlaka na krovnu plohu

$$e = \min (b ; 2h) = \min (100 ; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 50,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 50,0 = 0,24$$



Slika 7.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2])

**(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)**

$$\text{Površina (F)} = (e/4) \cdot (e/10) = (24/4) \cdot (24/10) = 14,4 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = -1,3$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = +0,0$$

$$\text{Površina (G)} = (b - 2 \cdot 0,25e) \cdot 0,1e = (100 - 2 \cdot 0,25 \cdot 24) \cdot 0,1 \cdot 24 = 211,2 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = -1,0$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = +0,0$$



$$\text{Površina (H)} = b \cdot (0,5e - 0,1e) = 100 \cdot (0,5 \cdot 24 - 0,1 \cdot 24) =$$

$$960 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,45$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,0$$

$$\text{Površina (I)} = b \cdot (d - 0,5e) = 100 \cdot (50,0 - 0,1 \cdot 24) = 4760 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,0$$

$$\text{Površina (J)} = b \cdot (d - 0,5e) = 90 \cdot (34,0 - 0,5 \cdot 20) = 2160 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,4$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,3$$

### Koeficijent izloženosti

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

### Djelovanje vjetra na dvostrešne krovove

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^{F,1} = 0,483 \cdot (-1,3) = -0,628 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{F,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = +0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{G,1} = 0,483 \cdot (-1,0) = -0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{G,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = -0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{H,1} = 0,483 \cdot (-0,45) = -0,217 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{H,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = -0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{I,1} = 0,483 \cdot (-0,5) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{I,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = -0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{J,1} = 0,483 \cdot (-0,4) = -0,193 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{J,2} = 0,483 \cdot (-0,3) = -0,145 \text{ kN/m}^2$$

Unutrašnji tlak

Pritisak vjetra

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

Referentna visina  $z_i = 12 \text{ m}$

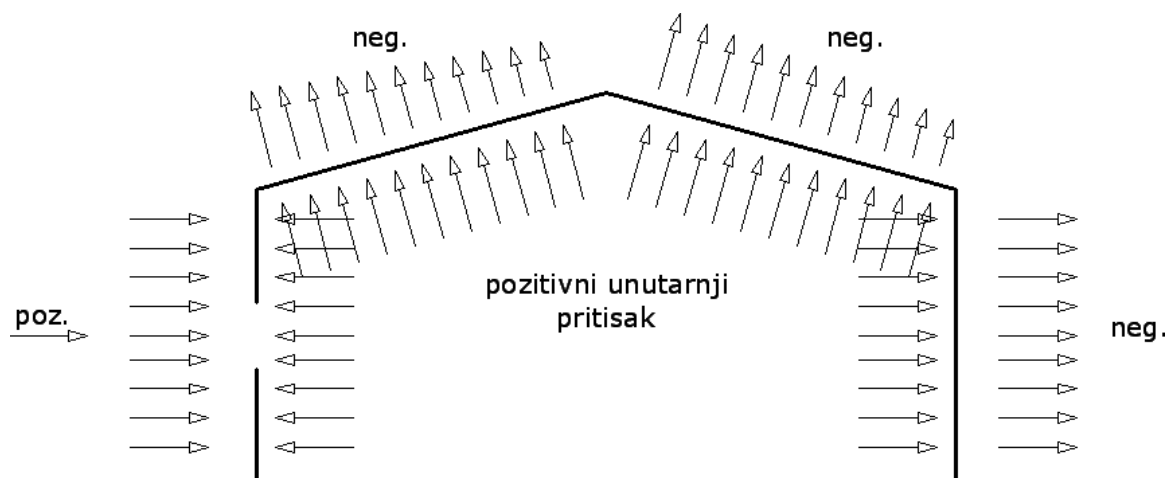
Koeficijent unutrašnjeg tlaka vjetra  $c_{pi}$

$c_{pi} = +0,2$  kad vjetar izaziva tlak iznutra

Djelovanje vjetra na sve površine  $c_{pi} = 0,2$

$$w_i = 0,483 \cdot (+0,2) = 0,097 \text{ kN/m}^2$$

Tlak na površinu je algebarski zbroj unutarnjeg i vanjskog tlaka:



Slika 8.: Tlak na unutarnje površine

$$w_k^A = w_e^A - w_i = -0,580 - (+0,097) = -0,677 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = w_e^B - w_i = -0,386 - (+0,097) = -0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = w_e^C - w_i = -0,242 - (+0,097) = -0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = w_e^D - w_i = +0,386 - (+0,097) = +0,289 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = w_e^E - w_i = -0,338 - (+0,097) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F,1} = w_e^{F,1} - w_i = -0,628 - (+0,097) = -0,725 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F,2} = w_e^{F,2} - w_i = -0,000 - (+0,097) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G,1} = w_e^{G,1} - w_i = -0,483 - (+0,097) = -0,580 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G,2} = w_e^{G,2} - w_i = -0,000 - (+0,097) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H,1} = w_e^{H,1} - w_i = -0,217 - (+0,097) = -0,314 \text{ kN/m}^2$$

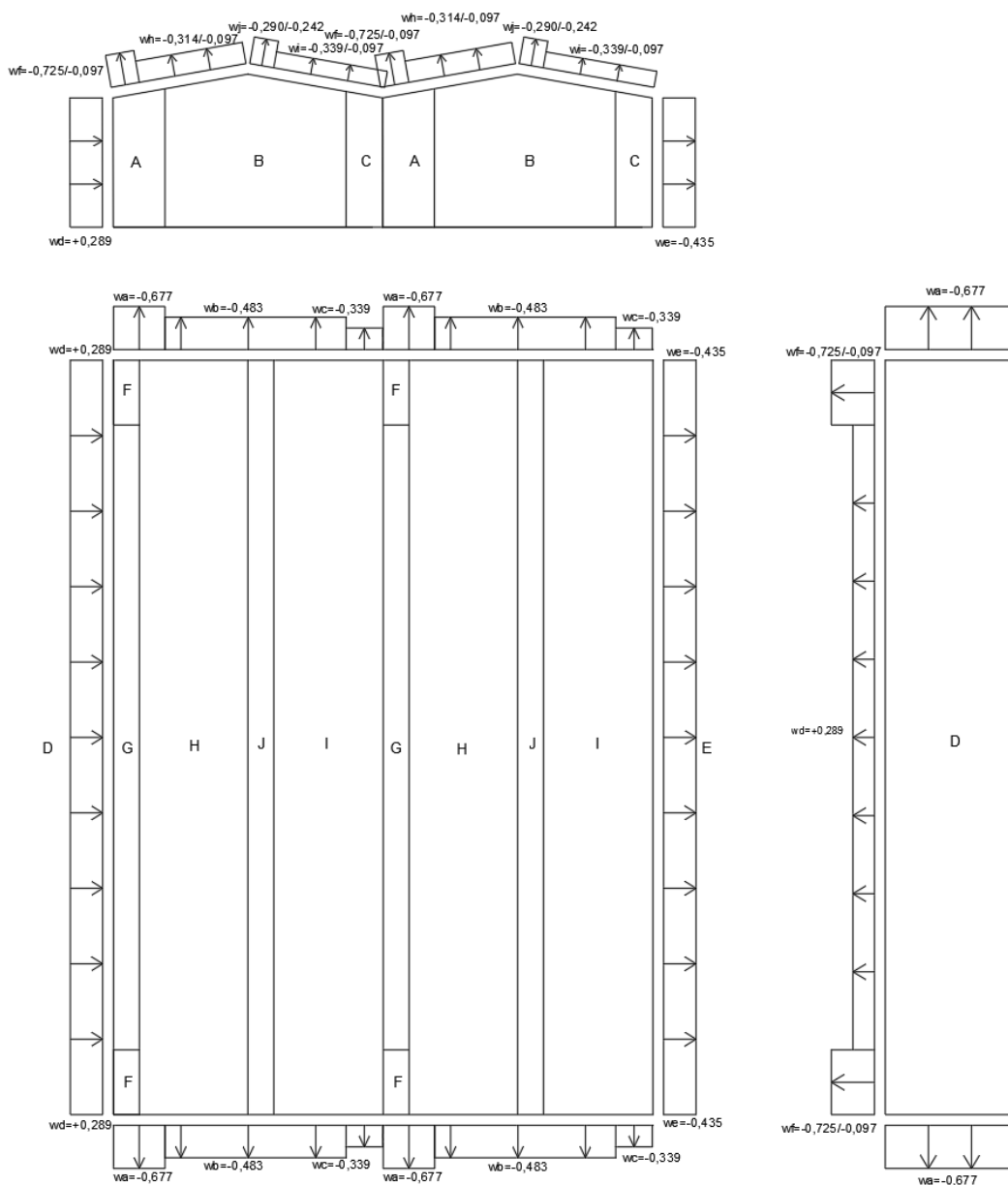
$$w_k^{H,2} = w_e^{H,2} - w_i = -0,000 - (+0,097) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I,1} = w_e^{I,1} - w_i = -0,242 - (+0,097) = -0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I,2} = w_e^{I,2} - w_i = -0,000 - (+0,097) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

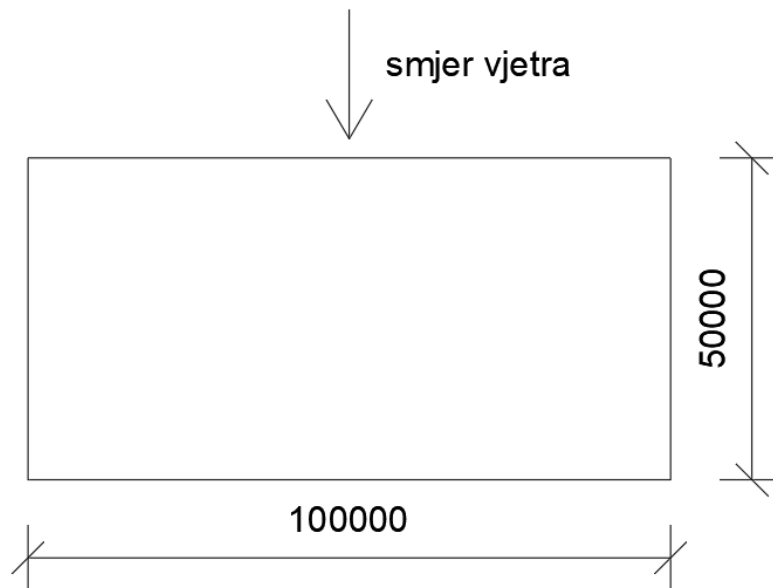
$$W_k^{J,1} = W_e^{J,1} - w_i = -0,193 - (+0,097) = -0,290 \text{ kN/m}^2$$

$$W_k^{J,2} = W_e^{J,2} - w_i = -0,145 - (+0,097) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$



Slika 9.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 1

### 3.1.2 Slučaj 2 – vjetar puše na uzdužnu stranu objekta $c_{pi} = -0,3$



Slika 10.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 2

Vanjski tlak

Vanjski tlak na vertikalne stijene

Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 100,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

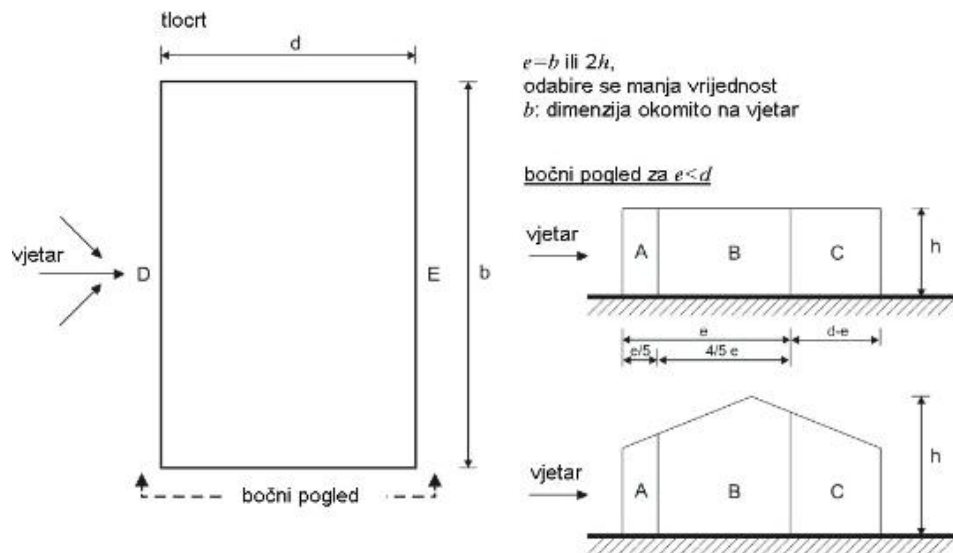
$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

Koeficijent tlaka na vertikalne stijene

$$e = \min(b; 2h) = \min(100; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 50,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 50,0 = 0,24$$



Slika 11.: Legenda za vertikalne zidove (Izvor: [2])

(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)

$$\text{Površina (A)} = 59,78 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$$

$$\text{Površina (B)} = 255,82 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$\text{Površina (C)} = 11,83 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\text{Površina (D)} = b \cdot h = 100,0 \cdot 12 = 1200,0 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,8$$

$$\text{Površina (E)} = b \cdot h = 100,0 \cdot 12 = 1200,0 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,7$$

### Koeficijent izloženosti

Teren II kategorije – slaba vegetacija- pojedine zapreke s razmakom najmanje 20 visina zapreke

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b$ )**

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z))$$

$k_u$  vršni faktor turbulencije,  $k_u = 2,8$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$c_r(z)$  faktor hrapavosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_r$  faktor terena ovisan o hrapavosti

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

$$I_u(z) = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_l$  faktor turbulencije  $k_l = 1$

$c_o(z)$  faktor vertikalne razvedenosti, za ravne terene  $c_o(z) = 1$

$$I_u(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right)} = 0,271$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z)) = 15,8 \cdot (1 + 2,8 \cdot 0,271) = 27,79 \text{ m/s}$$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,79 \cdot 1 \cdot 20 = 15,8 \text{ m/s}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right) = 0,79$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

### Djelovanje vjetra na vertikalne površine

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^A = 0,483 \cdot (-1,2) = -0,580 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^B = 0,483 \cdot (-0,8) = -0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^C = 0,483 \cdot (-0,5) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^D = 0,483 \cdot (+0,8) = +0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^E = 0,483 \cdot (-0,7) = -0,338 \text{ kN/m}^2$$

### Vanjski tlak na krovnu plohu

#### Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$



$h = 12,0 \text{ m}$

$b = 100,0 \text{ m}$  (širina površine na koju puše vjetar)

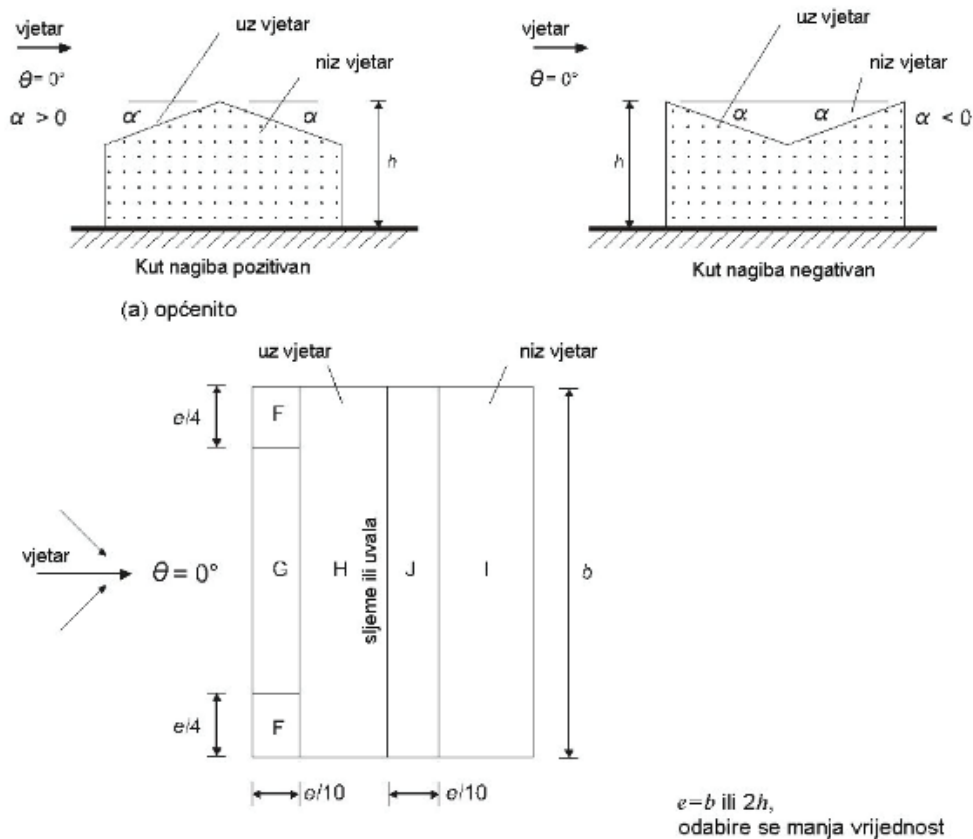
$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$

Koeficijenti tlaka na krovnu plohu

$e = \min(b; 2h) = \min(100; 24) = 24,0 \text{ m}$

$d = 50,0 \text{ m} \rightarrow e < d$

$h / d = 12,0 / 50,0 = 0,24$



Slika 12.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2])

(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)

$$\text{Površina (F)} = (e/4) \cdot (e/10) = (24/4) \cdot (24/10) = 14,4 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,3$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,0$$

$$\text{Površina (G)} = (b - 2 \cdot 0,25e) \cdot 0,1e = (100 - 2 \cdot 0,25 \cdot 24) \cdot 0,1 \cdot 24 = 211,2 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,0$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,0$$

$$\text{Površina (H)} = b \cdot (0,5e - 0,1e) = 100 \cdot (0,5 \cdot 24 - 0,1 \cdot 24) = 960 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,45$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,0$$

$$\text{Površina (I)} = b \cdot (d - 0,5e) = 100 \cdot (50,0 - 0,1 \cdot 24) = 4760 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\text{Površina (J)} = b \cdot (d - 0,5e) = 90 \cdot (34,0 - 0,5 \cdot 20) = 2160 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,4$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,3$$

### Koeficijent izloženosti

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

### Djelovanje vjetra na dvostrešne krovove

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^{F,1} = 0,483 \cdot (-1,3) = -0,628 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{F,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = +0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{G,1} = 0,483 \cdot (-1,0) = -0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{G,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = -0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{H,1} = 0,483 \cdot (-0,45) = -0,217 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{H,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = -0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{I,1} = 0,483 \cdot (-0,5) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{I,2} = 0,483 \cdot (+0,0) = -0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{J,1} = 0,483 \cdot (-0,4) = -0,193 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^{J,2} = 0,483 \cdot (-0,3) = -0,145 \text{ kN/m}^2$$

Unutrašnji tlak

Pritisak vjetra

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

Referentna visina  $z_i = 12 \text{ m}$

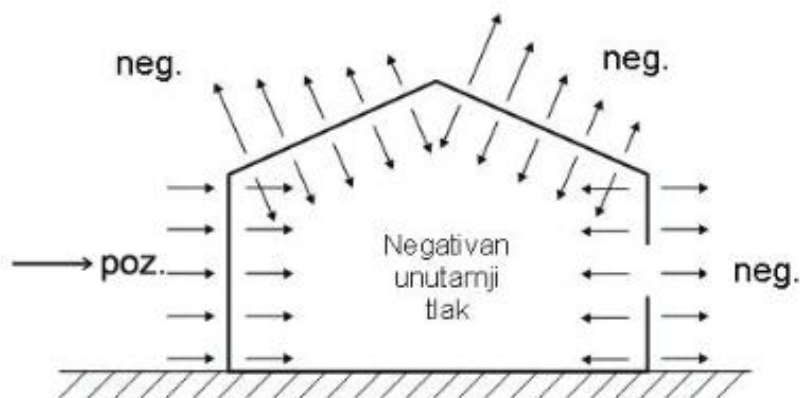
Koeficijent unutrašnjeg tlaka vjetra  $c_{pi}$

$c_{pi} = -0,3$  kad vjetar izaziva podtlak iznutra

Djelovanje vjetra na sve površine  $c_{pi} -0,3$

$$w_i = 0,483 \cdot (-0,3) = -0,145 \text{ kN/m}^2$$

Tlak na površinu je algebarski zbroj unutarnjeg i vanjskog tlaka:



Slika 13.: Podtlak na unutarnje površine

$$w_k^A = w_e^A - w_i = -0,580 - (-0,145) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = w_e^B - w_i = -0,386 - (-0,145) = -0,241 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = w_e^C - w_i = -0,242 - (-0,145) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = w_e^D - w_i = +0,386 - (-0,145) = +0,531 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = w_e^E - w_i = -0,338 - (-0,145) = -0,193 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F,1} = w_e^{F,1} - w_i = -0,628 - (-0,145) = -0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{F,2} = w_e^{F,2} - w_i = -0,000 - (-0,145) = +0,145 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G,1} = w_e^{G,1} - w_i = -0,483 - (-0,145) = -0,338 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G,2} = w_e^{G,2} - w_i = -0,000 - (-0,145) = +0,145 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H,1} = w_e^{H,1} - w_i = -0,217 - (-0,145) = -0,072 \text{ kN/m}^2$$

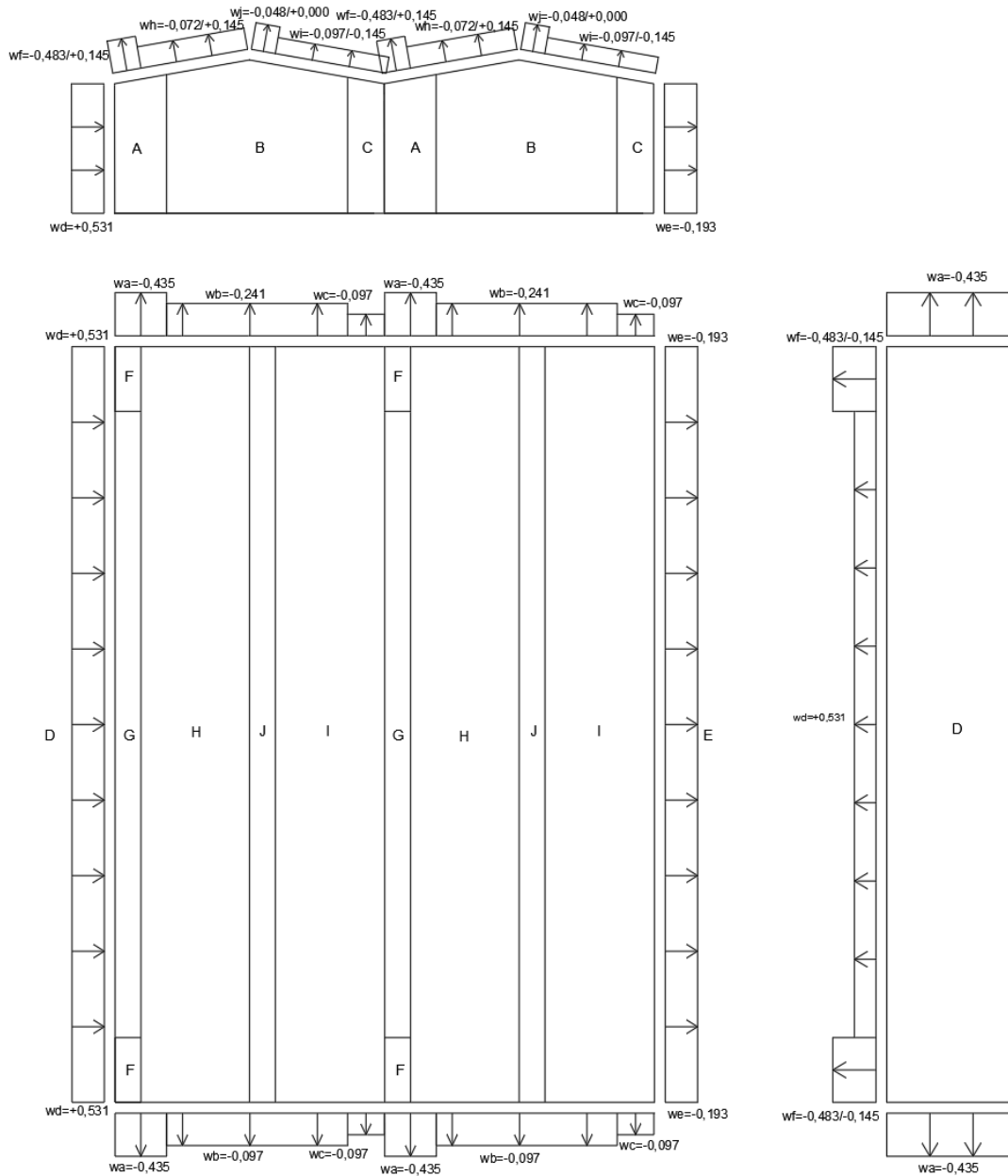
$$w_k^{H,2} = w_e^{H,2} - w_i = -0,000 - (-0,145) = +0,145 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I,1} = w_e^{I,1} - w_i = -0,242 - (-0,145) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I,2} = w_e^{I,2} - w_i = -0,000 - (-0,145) = -0,145 \text{ kN/m}^2$$

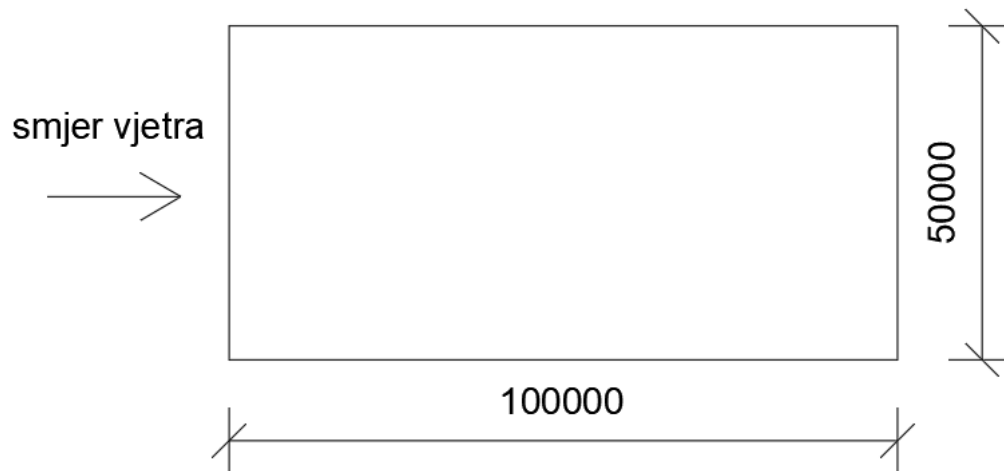
$$w_k^{J,1} = w_e^{J,1} - w_i = -0,193 - (-0,145) = -0,048 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{J,2} = w_e^{J,2} - w_i = -0,145 - (-0,145) = +0,000 \text{ kN/m}^2$$



Slika 14.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 2

### 3.1.3 Slučaj 3 – vjetar puše na poprečnu stranu objekta $c_{pi} = +0,2$



Slika 15.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 3

Vanjski tlak

Vanjski tlak na vertikalne stijene

Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 50,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

Koeficijent tlaka na vertikalne stijene

$$e = \min(b; 2h) = \min(50; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 100,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 100,0 = 0,12$$

$$\text{Površina (A)} = 57,6 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$$

$$\text{Površina (B)} = 230,4 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$\text{Površina (C)} = 912 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\text{Površina (D)} = 654,59 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,8$$

$$\text{Površina (E)} = 654,59 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,7$$

### Koeficijent izloženosti

Teren II kategorije – slaba vegetacija- pojedine zapreke s razmakom najmanje 20 visina zapreke

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b$ )**

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z))$$

$k_u$  vršni faktor turbulencije,  $k_u = 2,8$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$c_r(z)$  faktor hrapavosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_r$  faktor terena ovisan o hrapavosti

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

$$I_u(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_I$  faktor turbulencije  $k_I = 1$

$c_o(z)$  faktor vertikalne razvedenosti, za ravne terene  $c_o(z) = 1$

$$I_u(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right)} = 0,271$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z)) = 15,8 \cdot (1 + 2,8 \cdot 0,271) = 27,79 \text{ m/s}$$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,79 \cdot 1 \cdot 20 = 15,8 \text{ m/s}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right) = 0,79$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$



Djelovanje vjetra na vertikalne površine

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^A = 0,483 \cdot (-1,2) = -0,580 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^B = 0,483 \cdot (-0,8) = -0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^C = 0,483 \cdot (-0,5) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^D = 0,483 \cdot (+0,8) = +0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^E = 0,483 \cdot (-0,7) = -0,338 \text{ kN/m}^2$$

Vanjski tlak na krovnu plohu

Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 50,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

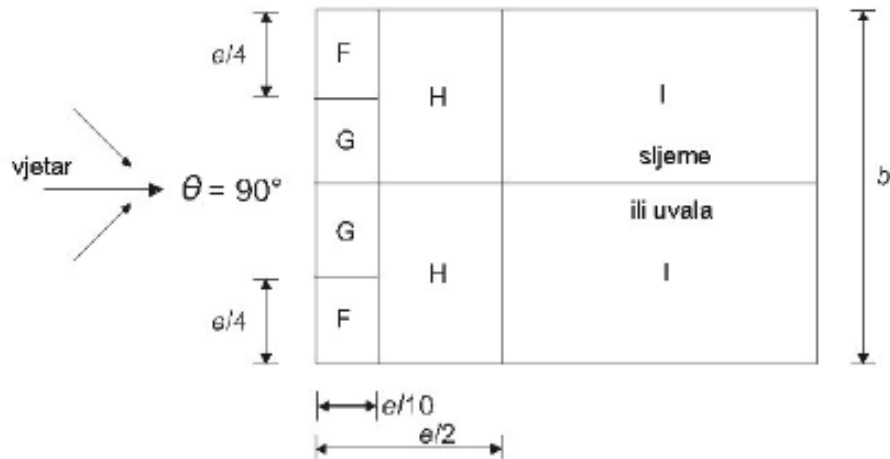
$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

Koeficijenti tlaka na krovnu plohu

$$e = \min(b; 2h) = \min(100; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 100,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 100,0 = 0,12$$

(c) smjer vjetra  $\theta=90^\circ$ 

Slika 16.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2])

(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)

$$\text{Površina (F)} = (e/4) \cdot (e/10) = (24/4) \cdot (24/10) = 14,4 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = -1,45$$

$$\text{Površina (G)} = (b - 2 \cdot 0,25e) \cdot 0,1e = (50 - 2 \cdot 0,25 \cdot 24) \cdot 0,1 \cdot 24 = 91,2 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = -1,3$$

$$\text{Površina (H)} = b \cdot (0,5e - 0,1e) = 50 \cdot (0,5 \cdot 24 - 0,1 \cdot 24) = 480 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = -0,65$$

$$\text{Površina (I)} = b \cdot (d - 0,5e) = 50 \cdot (100,0 - 0,1 \cdot 24) = 4880 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow C_{pe} = C_{pe,10} = -0,55$$

Koeficijent izloženosti

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

### Djelovanje vjetra na dvostrešne krovove

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^F = 0,483 \cdot (-1,45) = -0,700 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^G = 0,483 \cdot (-1,3) = -0,628 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^H = 0,483 \cdot (-0,65) = -0,314 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^I = 0,483 \cdot (-0,55) = -0,266 \text{ kN/m}^2$$

### Unutrašnji tlak

#### Pritisak vjetra

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

#### Referentna visina

$$z_i = 12 \text{ m}$$

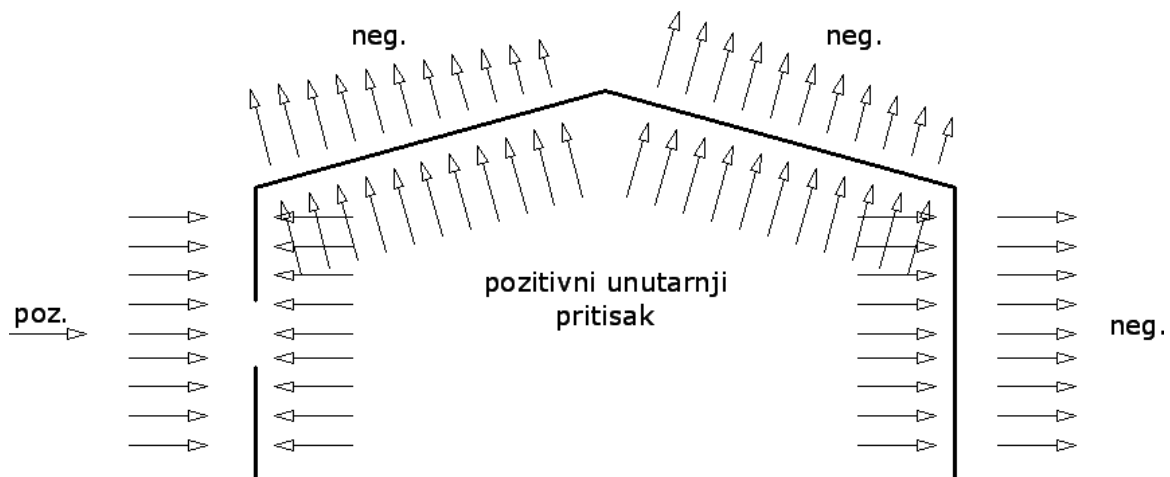
#### Koeficijent unutrašnjeg tlaka vjetra $c_{pi}$

$c_{pi} = +0,2$  kad vjetar izaziva tlak iznutra

Djelovanje vjetra na sve površine  $c_{pi} = +0,2$

$$w_i = 0,483 \cdot (+0,2) = +0,097 \text{ kN/m}^2$$

Tlak na površinu je algebarski zbroj unutarnjeg i vanjskog tlaka:



Slika 17.: Tlak na unutarnje površine

$$w_k^A = w_e^A - w_i = -0,580 - (+0,097) = -0,677 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = w_e^B - w_i = -0,386 - (+0,097) = -0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = w_e^C - w_i = -0,242 - (+0,097) = -0,339 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = w_e^D - w_i = +0,386 - (+0,097) = +0,483 \text{ kN/m}^2$$

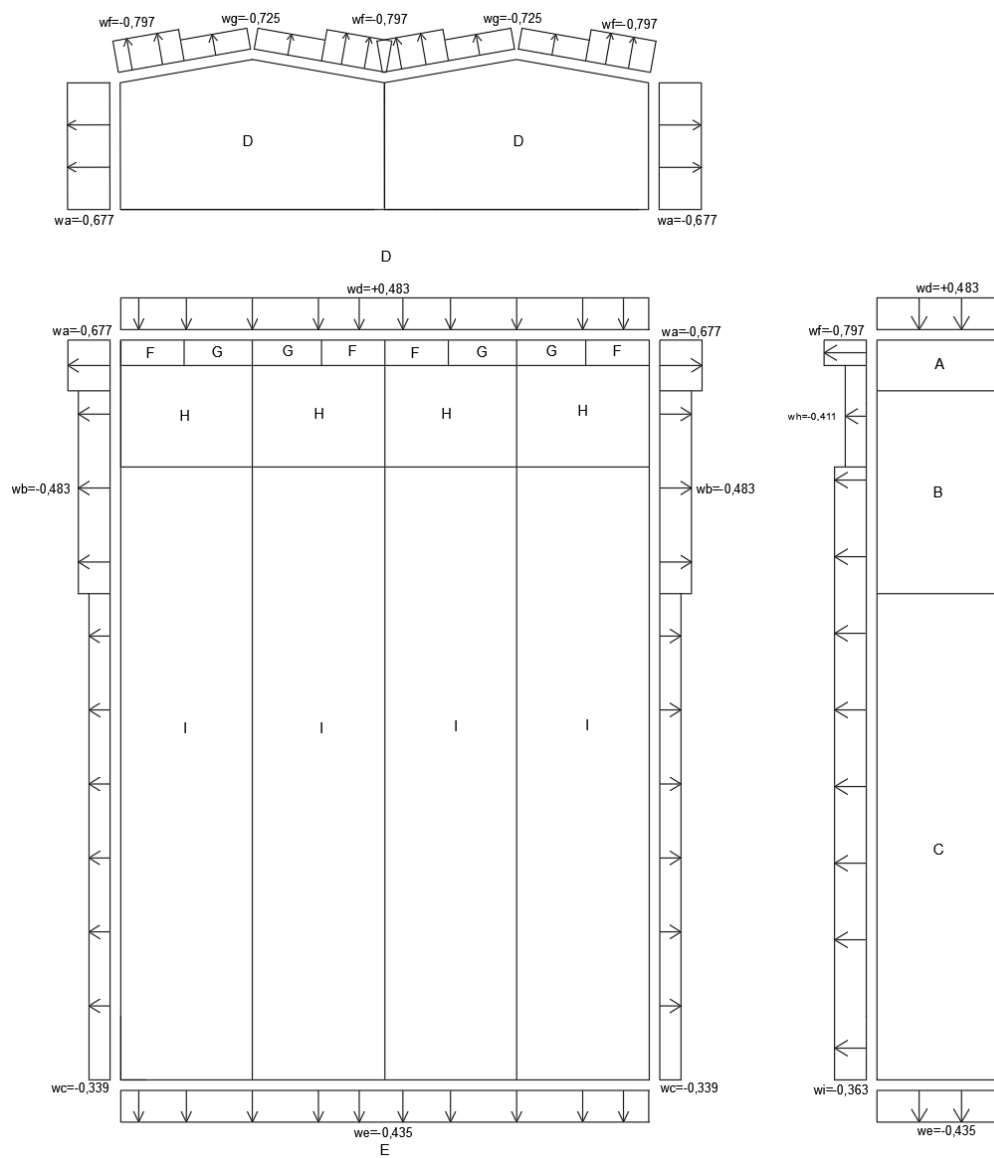
$$w_k^E = w_e^E - w_i = -0,338 - (+0,097) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^F = w_e^F - w_i = -0,700 - (+0,097) = -0,797 \text{ kN/m}^2$$

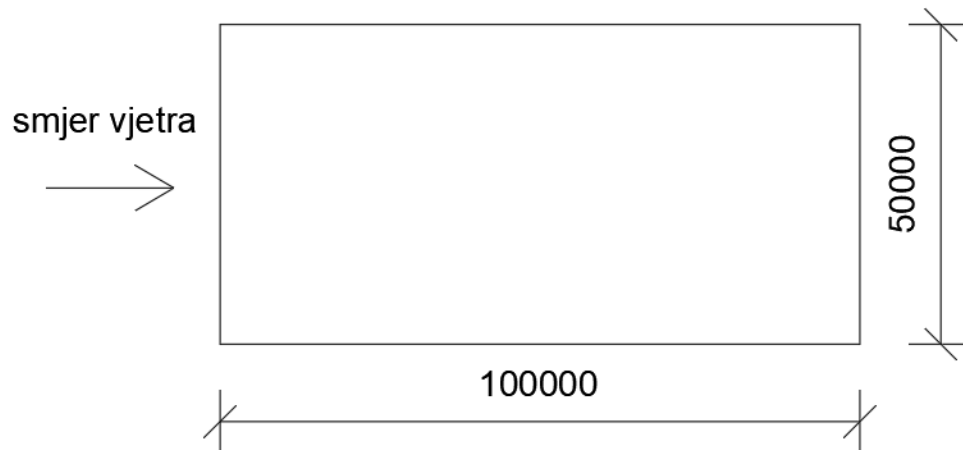
$$w_k^G = w_e^G - w_i = -0,628 - (+0,097) = -0,725 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = w_e^H - w_i = -0,314 - (+0,097) = -0,411 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^I = w_e^I - w_i = -0,266 - (+0,097) = -0,363 \text{ kN/m}^2$$



Slika 18.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 3

3.1.4 Slučaj 4 – vjetar puše na poprečnu stranu objekta  $c_{pi} = -0,3$ 

Slika 19.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 4

Vanjski tlak

Vanjski tlak na vertikalne stijene

Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 50,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

Koeficijent tlaka na vertikalne stijene

$$e = \min(b; 2h) = \min(50; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 100,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 100,0 = 0,12$$

$$\text{Površina (A)} = 57,6 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$$

$$\text{Površina (B)} = 230,4 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$\text{Površina (C)} = 912 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

$$\text{Površina (D)} = 654,59 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = +0,7$$

$$\text{Površina (E)} = 654,59 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,3$$

### Koeficijent izloženosti

Teren II kategorije – slaba vegetacija- pojedine zapreke s razmakom najmanje 20 visina zapreke

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b$ )**

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z))$$

$k_u$  vršni faktor turbulencije,  $k_u = 2,8$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$c_r(z)$  faktor hrapavosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_r$  faktor terena ovisan o hrapavosti

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

$$I_u(z) = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$k_t$  faktor turbulencije  $k_t = 1$

$c_o(z)$  faktor vertikalne razvedenosti, za ravne terene  $c_o(z) = 1$

$$I_u(z) = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right)} = 0,271$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$v_p(z) = v_m(z) \cdot (1 + k_u \cdot I_u(z)) = 15,8 \cdot (1 + 2,8 \cdot 0,271) = 27,79 \text{ m/s}$$

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,79 \cdot 1 \cdot 20 = 15,8 \text{ m/s}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right) = 0,79$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

### Djelovanje vjetra na vertikalne površine

$$W_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$



$$w_e^A = 0,483 \cdot (-1,2) = -0,580 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^B = 0,483 \cdot (-0,8) = -0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^C = 0,483 \cdot (-0,5) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^D = 0,483 \cdot (+0,8) = +0,386 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^E = 0,483 \cdot (-0,7) = -0,338 \text{ kN/m}^2$$

### Vanjski tlak na vertikalne plohe

#### Referentna visina:

$$z_e = h \text{ ako je } h \leq b$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

$$b = 50,0 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

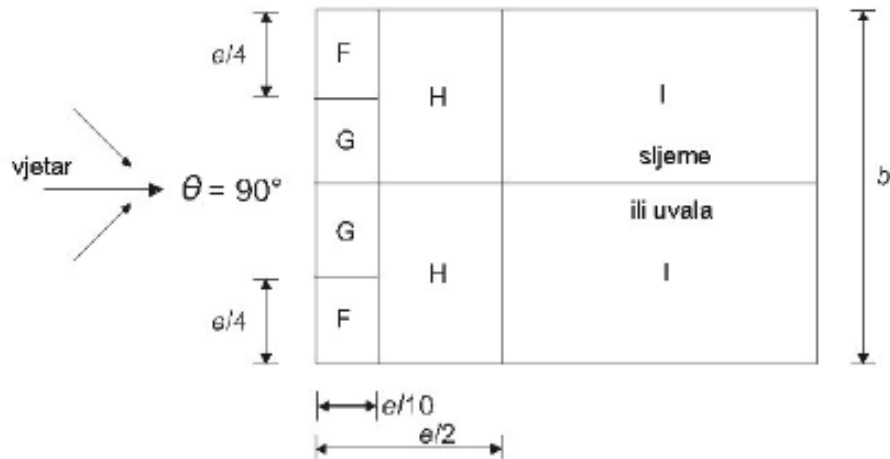
$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 12 \text{ m}$$

### Koeficijenti tlaka na krovnu plohu

$$e = \min (b ; 2h) = \min (100 ; 24) = 24,0 \text{ m}$$

$$d = 100,0 \text{ m} \rightarrow e < d$$

$$h / d = 12,0 / 100,0 = 0,12$$

(c) smjer vjetra  $\theta=90^\circ$ 

Slika 20.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2])

(NAPOMENA: korištena slika iz starih normi, ista kao u novim)

$$\text{Površina (F)} = (e/4) \cdot (e/10) = (24/4) \cdot (24/10) = 14,4 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,45$$

$$\text{Površina (G)} = (b - 2 \cdot 0,25e) \cdot 0,1e = (50 - 2 \cdot 0,25 \cdot 24) \cdot 0,1 \cdot 24 = 91,2 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -1,3$$

$$\text{Površina (H)} = b \cdot (0,5e - 0,1e) = 50 \cdot (0,5 \cdot 24 - 0,1 \cdot 24) = 480 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,65$$

$$\text{Površina (I)} = b \cdot (d - 0,5e) = 50 \cdot (100,0 - 0,1 \cdot 24) = 4880 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow c_{pe} = c_{pe,10} = -0,55$$

Koeficijent izloženosti

$$c_e(12) = 2,5$$

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,79^2 = 483 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,483 \text{ kN/m}^2$$

Djelovanje vjetra na dvostrešne krovove

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_e^F = 0,625 \cdot (-1,45) = -0,813 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^G = 0,625 \cdot (-1,3) = -0,625 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^H = 0,625 \cdot (-0,65) = -0,281 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^I = 0,625 \cdot (-0,55) = -0,313 \text{ kN/m}^2$$

Unutrašnji tlak

Pritisak vjetra

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

Referentna visina

$$z_i = 12 \text{ m}$$

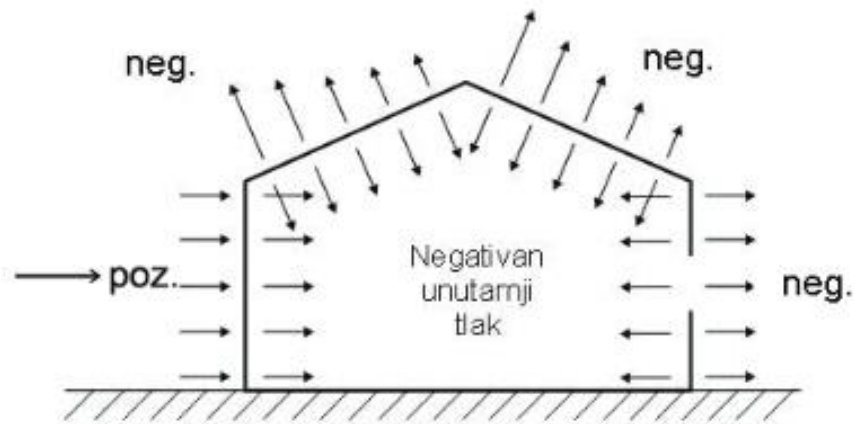
Koeficijent unutrašnjeg tlaka vjetra  $c_{pi}$

$c_{pi} = -0,3$  kad vjetar izaziva podtlak iznutra

Djelovanje vjetra na sve površine  $c_{pi} = -0,3$

$$w_i = 0,483 \cdot (-0,3) = -0,145 \text{ kN/m}^2$$

Tlak na površinu je algebarski zbroj unutarnjeg i vanjskog tlaka:



Slika 21.: Podtlak na unutarnje površine

$$w_k^A = w_e^A - w_i = -0,580 - (-0,145) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = w_e^B - w_i = -0,386 - (-0,145) = -0,241 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = w_e^C - w_i = -0,242 - (-0,145) = -0,097 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = w_e^D - w_i = +0,386 - (-0,145) = +0,531 \text{ kN/m}^2$$

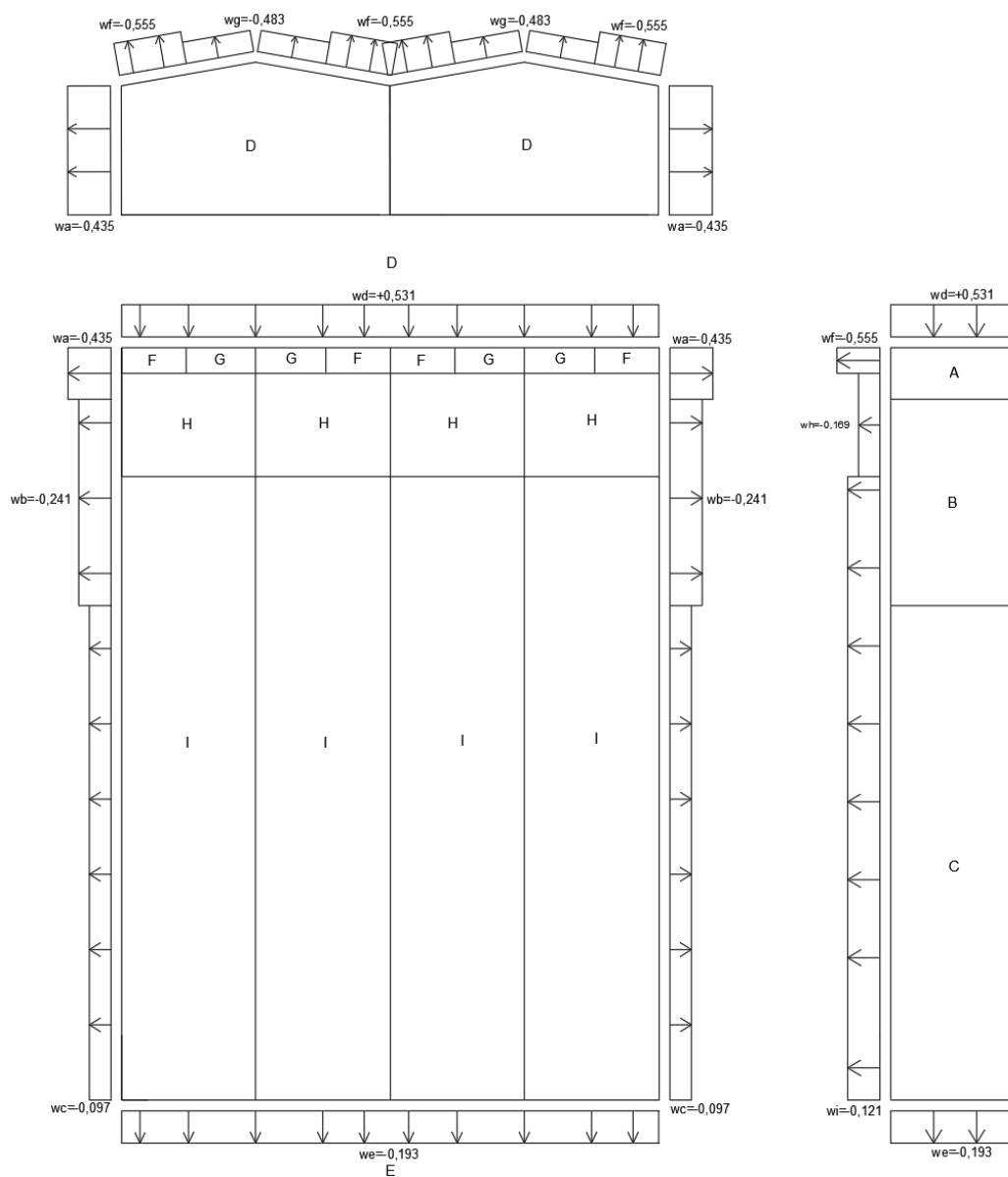
$$w_k^E = w_e^E - w_i = -0,338 - (-0,145) = -0,193 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^F = w_e^F - w_i = -0,700 - (-0,145) = -0,555 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = w_e^G - w_i = -0,628 - (-0,145) = -0,483 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = w_e^H - w_i = -0,314 - (-0,145) = -0,169 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^I = w_e^I - w_i = -0,266 - (-0,145) = -0,121 \text{ kN/m}^2$$



Slika 22.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 4

## 4 OPTEREĆENJE OD KRANSKE STAZE

### 4.1 Osnovni podaci

Statički sustav nosača: kontinuirani nosač preko 14 raspona od  $L = 7,143$  m

Poprečni presjek	zavareni
Čelik:	S 355
Nosivost kрана:	$Q_{h,nom} = 350,0$ kN
Raspon kрана:	$L = 23,4$ m
Ukupna vlastita težina kрана:	$Q_c = 123,39$ kN
Vlastita težina mačke:	$G_c = 24,65$ kN
Brzina dizanja tereta:	$v_h = 4,0$ m/min
Minimalni razmak od kuke do osi nosača kranske staze:	$l_{min} = 1,131$ m
Razmak kotača:	$a = 3,6$ m
Klasa dizanja (podatak od proizvođača):	S3
Klasa umora (podatak od proizvođača):	HC4

Svaki par kotača ima zasebni pogonski motor. Ležajevi između pogona i nosača su za sva četiri kotača sustava definirani kao veza "upeto/upeto" (sustav IFF).

## Dinamički koeficijenti

Tablica 3.: Dinamički koeficijenti

DINAMICKI FAKTOR	UČINCI KOJI SE RAZMATRAJU	PRIMJENJUJE SE NA
$\varphi_1$	Vibracijska pobuda konstrukcije kрана zbog podizanja tereta s tla	Vlastitu težinu kрана
$\varphi_2$	Dinamički učinak podizanja terete od tla do kрана	Teret koji se diže
$\varphi_3$	Dinamički učinak naglog otpuštanja korisnog opterećenja ako se koriste kliješta ili magnet	Teret koji se diže
$\varphi_4$	Dinamički učinci zbog kretanja po tračnicama ili kranskoj stazi	Vlastitu težinu kрана i teret koji se diže
$\varphi_5$	Dinamički učinci uzrokovani pogonskim silama i odnose se na horizontalne sile (horizontalne uzdužne i poprečne), a koje se pojavljuju prilikom kretanja ili kočenja kрана po tračnicama	Vodne sile
$\varphi_6$	Dinamički učinak zbog kretanja probnog tereta po kranskom mostu koji se kreće	Probni teret
$\varphi_7$	Dinamički elastični učinak udarca na odbojnice	Sile u odbojniku

Dinamički koeficijent  $\varphi_1$ :

$$\varphi_1 = 1 \pm a$$

$$\varphi_1 = 1 \pm 0,1 = 1,1$$

Dinamički koeficijent  $\varphi_2$ :

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_h$$

---

→ za klasu dizanja HC4:  $\beta_2 = 0,68$  →  $\varphi_{2,\min} = 1,20$

$$v_h = 5,0 \text{ m/min} = 5,0 \cdot (1/60) = 0,083 \text{ m/}$$

$$\varphi_2 = 1,20 + 0,68 \cdot 0,083 = 1,26$$

Dinamički koeficijent  $\varphi_3$ :

$$\varphi_3 = 1,0 \quad \text{(Napomena: ne postoji mogućnost iznenadnog otpuštanja tereta)}$$

Dinamički koeficijent  $\varphi_4$ :

$$\varphi_4 = 1,0$$

Dinamički koeficijent  $\varphi_5$ :

$$1,0 < \varphi_5 < 1,5 \quad \text{kod sustava sa kontinuiranom promjenom sila}$$

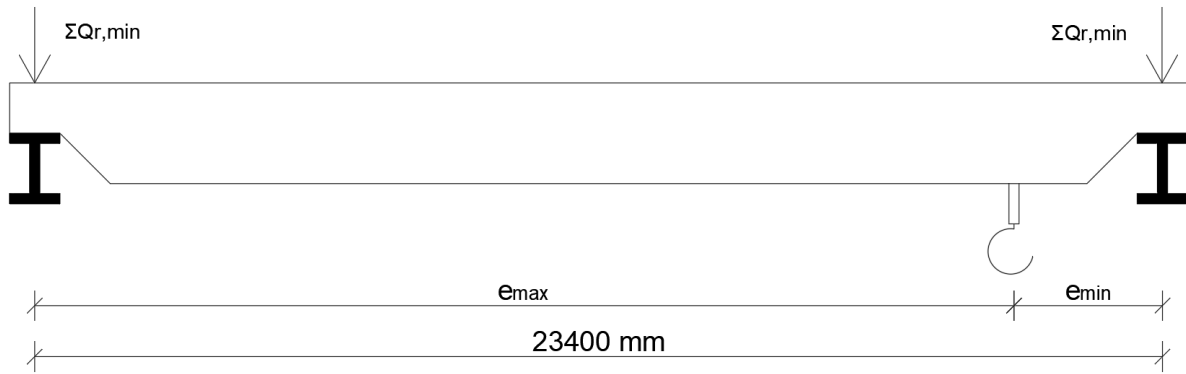
$$\varphi_5 = 1,5$$

Vertikalna opterećenja

### Minimalne vrijednosti (kran neopterećen)

Kuka za dizanje tereta je u najudaljenijem položaju od nosača kranske staze.





Slika 23.: Shema opterećenja neopterećenog kрана za određivanje najmanjeg opterećenja

#### 4.1.1 Skupine opterećenja 1 i 2

Opterećenje od kranskog mosta uzima se kao kontinuirano:

$$q_c = (Q_c - G_c) / L = (120 - 34,08) / 23,4 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Dinamičko povećanje:

$$\varphi_1 \cdot q_c = 1,1 \cdot 3,67 = 4,04 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje od mačke s kukom:

$$\varphi_1 \cdot G_c = 1,1 \cdot 34,08 = 37,49 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,min}$ :

$$\Sigma Q_{r,min} = \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + \varphi_1 \cdot G_c \cdot \frac{e_{max}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 4,04 \cdot 23,4 + 37,49 \cdot \frac{22,050}{23,4} = 82,60 \text{ kN}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,\min} = 41,30 \text{ kN}$

Opterećenje na manje opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,(\min)}$ :

$$\Sigma Q_{r,(\min)} = \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + \varphi_1 \cdot G_c \cdot \frac{e_{\min}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 4,04 \cdot 23,4 + 37,49 \cdot \frac{1,350}{23,4} = 49,43 \text{ kN}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,(min)} = 24,72 \text{ kN}$

#### 4.1.2 Skupine opterećenja 3, 4, 5

Opterećenje od kranskog mosta uzima se kao kontinuirano:

$$q_c = (Q_c - G_c) / L = (120 - 34,08) / 23,4 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Dinamičko povećanje:

$$q_c \cdot 1,0 \cdot 3,67 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje od mačke s kukom:

$$G_c \cdot 1,0 = 34,08 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,min}$ :

$$\Sigma Q_{r,min} = \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + \varphi_1 \cdot G_c \cdot \frac{e_{max}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 3,67 \cdot 23,4 + 34,08 \cdot \frac{22,050}{23,4} = 75,05 \text{ kN}$$

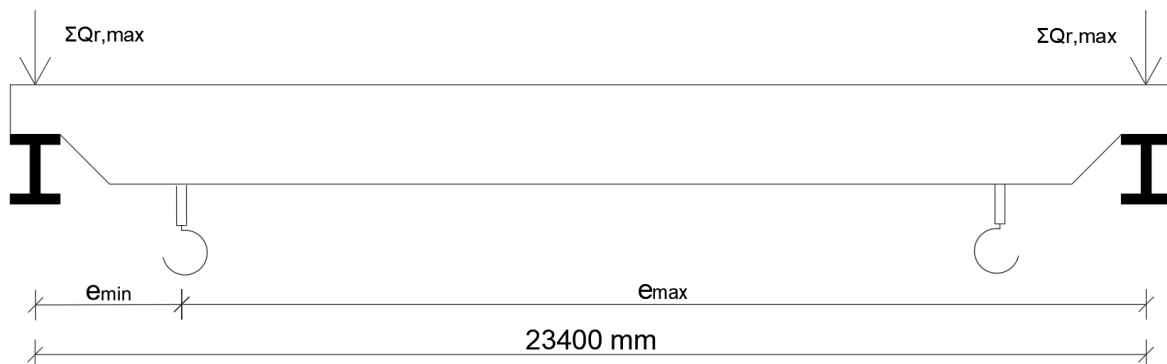
Po jednom kotaču:  $Q_{r,min} = 37,53 \text{ kN}$

Opterećenje na manje opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,(min)}$ :

$$\Sigma Q_{r,min} = \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + \varphi_1 \cdot G_c \cdot \frac{e_{max}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 3,67 \cdot 23,4 + 34,08 \cdot \frac{1,350}{23,4} = 44,91 \text{ kN}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,(min)} = 22,46 \text{ kN}$

Maksimalne vrijednosti (kran opterećen)



Slika 24.: Shema opterećenja opterećenog kрана za određivanje najvećeg opterećenja

#### 4.1.3 Skupina opterećenja 1

Opterećenje od kranskog mosta uzima se kao kontinuirano:

$$q_c = (Q_c - G_c) / L = (120 - 34,08) / 23,4 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Dinamičko povećanje:

$$\varphi_1 \cdot q_c = 1,1 \cdot 3,67 = 4,04 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje od mačke s kukom:

$$\varphi_1 \cdot G_c = 1,1 \cdot 34,08 = 37,49 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje teretom:

$$Q_h = \varphi_2 \cdot Q_{h,nom} = 1,26 \cdot 350,0 = 441 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,max}$ :

$$\begin{aligned}\Sigma Q_{r,max} &= \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot \frac{e_{max}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 4,04 \cdot 23,4 + (37,49 + 441) \cdot \frac{22,050}{23,4} \\ &= 498,15 \text{ kN}\end{aligned}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,max} = 249,08 \text{ kN}$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,(max)}$ :

$$\begin{aligned}\Sigma Q_{r,(max)} &= \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot \frac{e_{min}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 4,04 \cdot 23,4 + (37,49 + 441) \cdot \frac{1,350}{23,4} \\ &= 74,87 \text{ kN}\end{aligned}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,(max)} = 37,44 \text{ kN}$

#### 4.1.4 Skupina opterećenja 2

Opterećenje od kranskog mosta uzima se kao kontinuirano:

$$q_c = (Q_c - G_c) / L = (120,0 - 34,08) / 23,4 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Dinamičko povećanje:

$$\varphi_1 \cdot q_c = 1,1 \cdot 3,67 = 4,04 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje od mačke s kukom:

$$\varphi_1 \cdot G_c = 1,1 \cdot 34,08 = 37,49 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje teretom:

$$Q_h = \varphi_3 \cdot Q_{h,nom} = 1,0 \cdot 350,0 = 350,0 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,max}$ :

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{r,max} &= \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot \frac{e_{max}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 4,04 \cdot 23,4 + (37,49 + 350) \cdot \frac{22,050}{23,4} \\ &= 412,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,max} = 206,2 \text{ kN}$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,(max)}$ :

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{r,(max)} &= \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot \frac{e_{min}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 4,04 \cdot 23,4 + (37,49 + 350) \cdot \frac{1,350}{23,4} \\ &= 69,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,(max)} = 34,81 \text{ kN}$

#### 4.1.5 Skupine opterećenja 4, 5

Opterećenje od kranskog mosta uzima se kao kontinuirano:

$$q_c = (Q_c - G_c) / L = (120,0 - 34,08) / 23,4 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Dinamičko povećanje:

$$\varphi_4 \cdot q_c = 1,0 \cdot 3,67 = 3,67 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje od mačke s kukom:

$$\varphi_4 \cdot G_c = 1,0 \cdot 34,08 = 34,08 \text{ kN/m'}$$

Koncentrirano opterećenje teretom:

$$Q_h = \varphi_4 \cdot Q_{h,nom} = 1,0 \cdot 350,0 = 350,0 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,max}$ :

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{r,max} &= \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot \frac{e_{max}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 3,67 \cdot 23,4 + (34,08 + 350) \cdot \frac{22,050}{23,4} \\ &= 404,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,max} = 202,43 \text{ kN}$

Opterećenje na više opterećenim kotačima  $\Sigma Q_{r,(max)}$ :

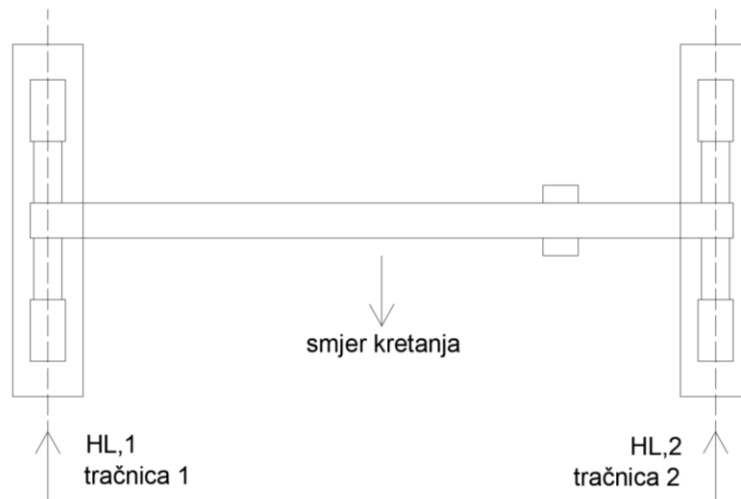
$$\begin{aligned} \Sigma Q_{r,(max)} &= \frac{1}{2} \cdot q_c \cdot \varphi_1 \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot \frac{e_{min}}{L} = \frac{1}{2} \cdot 3,67 \cdot 23,4 + (34,08 + 350) \cdot \frac{1,350}{23,4} \\ &= 65,10 \text{ kN} \end{aligned}$$

Po jednom kotaču:  $Q_{r,(max)} = 32,55 \text{ kN}$

## 4.2 Horizontalna opterećenja

Uslijed pokretanja ili kočenja kрана

Opterećenje duž kranske staze



Slika 25.: Opterećenje duž kranske staze

Pogonska sila:  $K = K_1 + K_2 = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,\min}$

gdje je:

$m_w = 2$  broj kotača sa pojedinačnim pogonom

$\mu = 0,2$  faktor trenja između kotača i tračnice

Iz toga slijedi da je pogonska sila:

$$K = 0,2 \cdot 2 \cdot 22,46 = 8,98 \text{ kN}$$

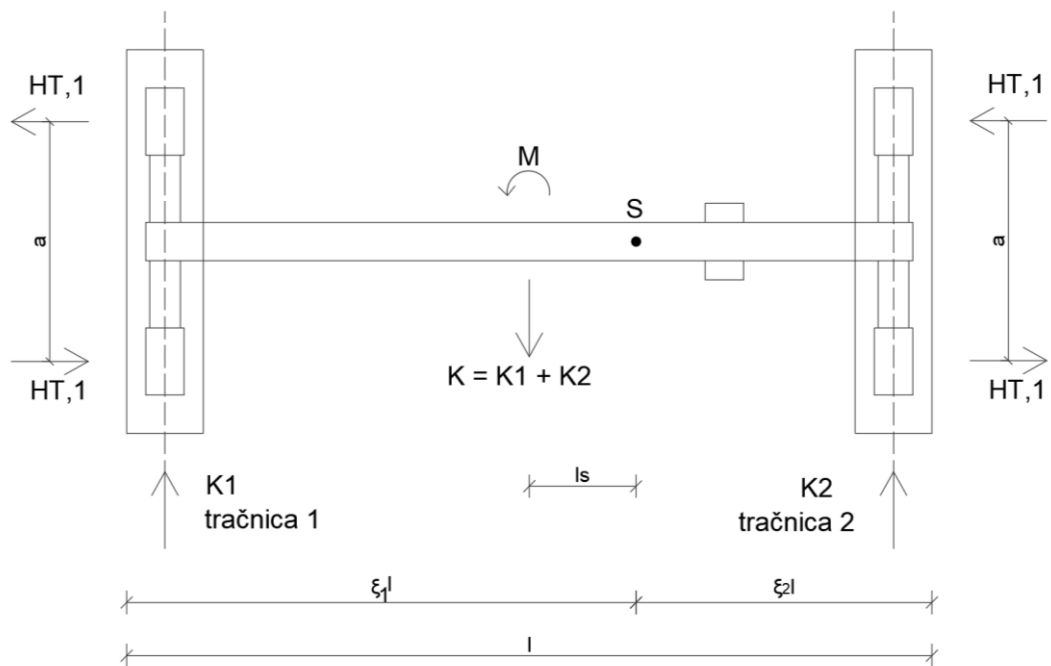
Horizontalna opterećenja duž kranske staze:

$H_{L,1} = \varphi_5 \cdot 1 \cdot \frac{1}{n_r}$  gdje je:  $n_r = 2$  broj nosača kranske staze

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 1,5 \cdot 8,98 \cdot \frac{1}{2} = 6,74 \text{ kN}$$



## Opterećenje poprečno na kransku stazu



Slika 26.: Opterećenje poprečno na kransku stazu

$$\xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r,\max}}{\Sigma Q_r} = \frac{249,08}{249,08 + 37,44} = 0,87$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,87 = 0,13$$

Razmak između točke težišta sustava i osi vožnje:

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot L = (0,87 - 0,5) \cdot 23,4 = 8,66 \text{ m}$$

Moment uslijed pogonske sile:

$$M = K \cdot l_s = 8,98 \cdot 8,66 = 77,77 \text{ kNm}$$

Horizontalna sila na manje opterećenoj kranskoj stazi 1:

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,13 \cdot \frac{77,77}{3,8} = 4,00 \text{ kN}$$

Horizontalna sila na više opterećenoj kranskoj stazi 2:

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,87 \cdot \frac{77,77}{3,8} = 26,71 \text{ kN}$$

Uslijed iskošenja kрана pri kretanju

$$\alpha \approx 0,015 \text{ rad}$$

$$f = 0,3 \cdot (1 - \exp(-250 \cdot \alpha)) \leq 0,3$$

$$f = 0,3 \cdot (1 - \exp(-250 \cdot 0,015)) = 0,293 \leq 0,3$$

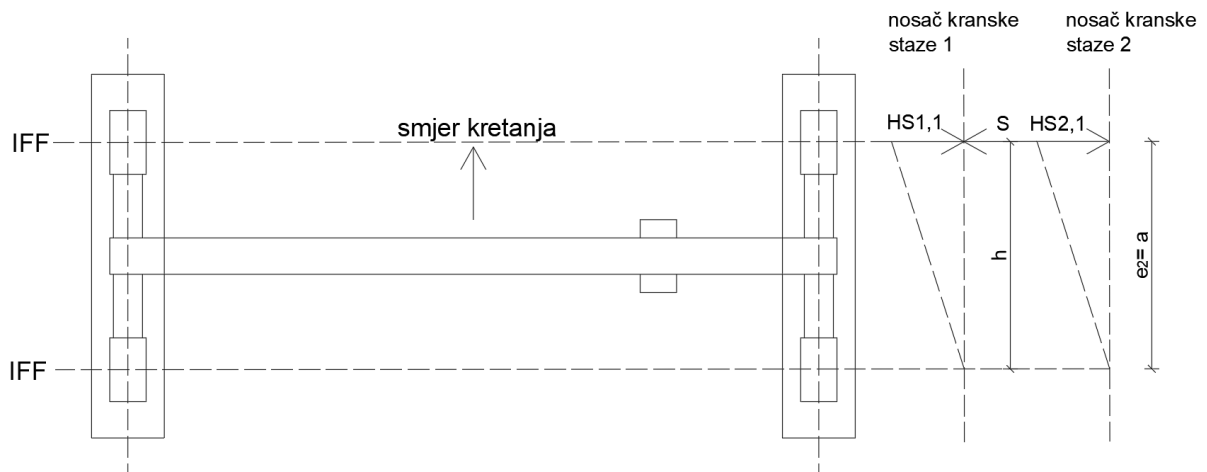
Određivanje razmaka između vodilica (h):

$$e_1 = 0 \text{ m}$$

$$e_2 = 3,8 \text{ m}$$

$m = 0$ , neovisni parovi kotača (sustav IFF)

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot 1^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{\sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{3,6^2}{3,6} = 3,6 \text{ m}$$



Slika 27.: Sile S i Hs

Određivanje faktora  $\lambda_S$ :

$$\lambda_S = 1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h} = 1 - \frac{3,6}{2 \cdot 3,6} = 0,5$$

$$\lambda_{S,1L} = \lambda_{S,2L} = 0$$

Prednji par kotača:

$$\lambda_{S,1,1T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,13}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{3,8}\right) = 0,065$$

$$\lambda_{S,2,1T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,87}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{3,8}\right) = 0,44$$

Stražnji par kotača:

$$\lambda_{S,1,2T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,13}{2} \cdot \left(1 - \frac{3,8}{3,8}\right) = 0$$

$$\lambda_{S,2,2T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,87}{2} \cdot \left(1 - \frac{3,8}{3,8}\right) = 0$$

Uzima se u obzir samo skupina opterećenja 5:

$$S = f \cdot \lambda_S \cdot \sum Q_{r,\max} = 0,293 \cdot 0,5 \cdot 202,43 = 29,66 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,1T} = f \cdot \lambda_{S,1,1T} \cdot \sum Q_{r,\max} = 0,293 \cdot 0,065 \cdot 202,43 = 3,86 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1T} = f \cdot \lambda_{S,2,1T} \cdot \sum Q_{r,\max} = 0,293 \cdot 0,44 \cdot 202,43 = 26,10 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,2T} = H_{S,2,2T} = 0$$

$$H_{S,1T} = S - H_{S,1,1T} = 29,66 - 3,86 = 25,8 \text{ kN}$$

$$H_{S,2T} = 25,8 \text{ kN}$$

Tablica 4.: Mjerodavna opterećenja na kransku stazu

			$\gamma$	Skupine opterećenja [kN]				
				1	2	3	4	5
Vertikalna opterećenja	Vlastita težina kрана	$Q_{r,min}$	*	41,30	41,30	37,53	37,53	37,53
			**	55,76	55,76	50,67	50,67	50,67
		$Q_{r,(min)}$	*	24,72	24,72	22,46	22,46	22,46
			**	33,37	33,37	30,32	30,32	30,32
	Vlastita težina kрана + teret dizanja	$Q_{r,max}$	*	249,08	206,2	-	202,43	202,43
			**	336,26	278,37	-	273,28	273,28
		$Q_{r,(max)}$	*	37,44	34,81	-	32,55	32,55
			**	50,54	47,00	-	43,94	43,94
Horizontalna opterećenja	Pokretanje i kočenje	$H_{L1}$	*	6,74	6,74	6,74	6,74	-
			**	9,10	9,10	9,10	9,10	-
		$H_{L2}$	*	6,74	6,74	6,74	6,74	-
			**	9,10	9,10	9,10	9,10	-
		$H_{T1}$	*	4,00	4,00	4,00	4,00	-
			**	5,40	5,40	5,40	5,40	-
	$H_{T2}$	*	26,71	26,71	26,71	26,71	-	
		**	36,06	36,06	36,06	36,06	-	
	Skošenje kрана pri kretanju	$H_{S,1T}$	*	-	-	-	-	25,80
			**	-	-	-	-	34,83
		$H_{S,2T}$	*	-	-	-	-	25,80
			**	-	-	-	-	34,83
* s parcijalnim faktorom sigurnosti $\gamma = 1,0$								
** s parcijalnim faktorom sigurnosti $\gamma = 1,35$								

### 4.3 Proračun unutarnjih sila i momenata savijanja

Poprečni presjek

Tablica 5.: Karakteristike poprečnog presjeka kranske staze

Podaci o poprečnom presjeku kranske staze			
	visina presjeka	$h$ [mm]	440
	širina pojasnice	$b$ [mm]	300
	debljina pojasnice	$t_f$ [mm]	21
	debljina hrpta	$t_w$ [mm]	11,5
	radijus	$r$ [mm]	27
	površina presjeka	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	178
	momenti površine 2. stupnja	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	63720
		$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]	9465
	momenti otpora	$W_{el,y}$ [cm <sup>3</sup> ]	2896
		$W_{el,z}$ [cm <sup>3</sup> ]	631
		$W_{pl,y}$ [cm <sup>3</sup> ]	3216
		$W_{pl,z}$ [cm <sup>3</sup> ]	965,5
	torzijska konstanta	$I_t$ [cm <sup>4</sup> ]	243,8
	konstanta krivljenja	$I_w$ [cm <sup>6</sup> ]	$4,148 \cdot 10^8$

Osnovni materijal

Čelik: S 355

Granica popuštanja:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Vlačna čvrstoća:  $f_u = 490 \text{ N/mm}^2$

Modul elastičnosti:  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Poissonov koeficijent:  $\nu = 0,3$

Parcijalni faktori

$$Y_{M0} = 1,0$$

$$Y_{M1} = 1,0$$

$$Y_{M2} = 1,25$$

$$Y_{Mw} = 1,25$$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$\frac{c}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{440 - 2 \cdot 21 - 2 \cdot 27}{11,5} = 29,91$$

$$29,91 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w}{2} = \frac{300 - 11,5}{21} = 6,87$$

$$6,87 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{klasa 1}$$

Pojasnica je svrstana u klasu 1.

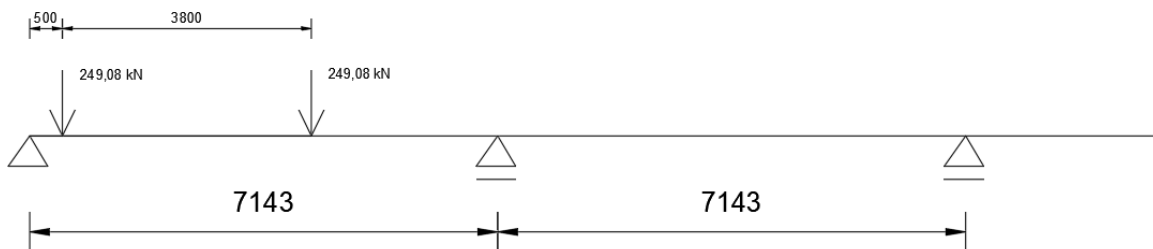
Poprečni presjek je klase 1.

Statički model

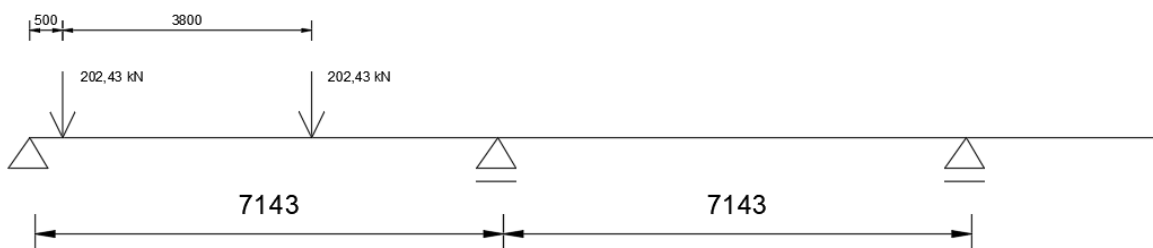
Statički model kranske staze je kontinuirana greda preko 14 raspona od 7,143 m, što predstavlja ukupnu dužinu hale od 100,0 m. Proračun se provodi prema teoriji elastičnosti.

Definiranje opterećenja:

1. vlastita težina (generirana u software-u)
- 
2. vertikalno pokretno opterećenje

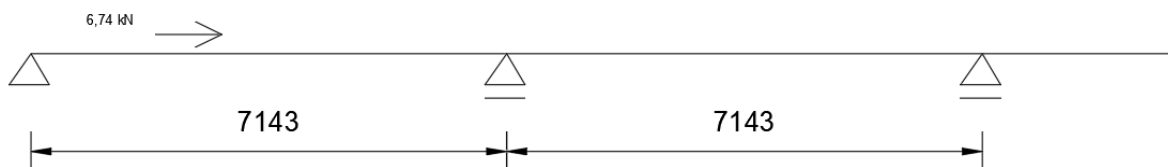


Slika 28.: Shema za najveće vertikalno pokretno opterećenje



Slika 29.: Shema za najmanje vertikalno pokretno opterećenje

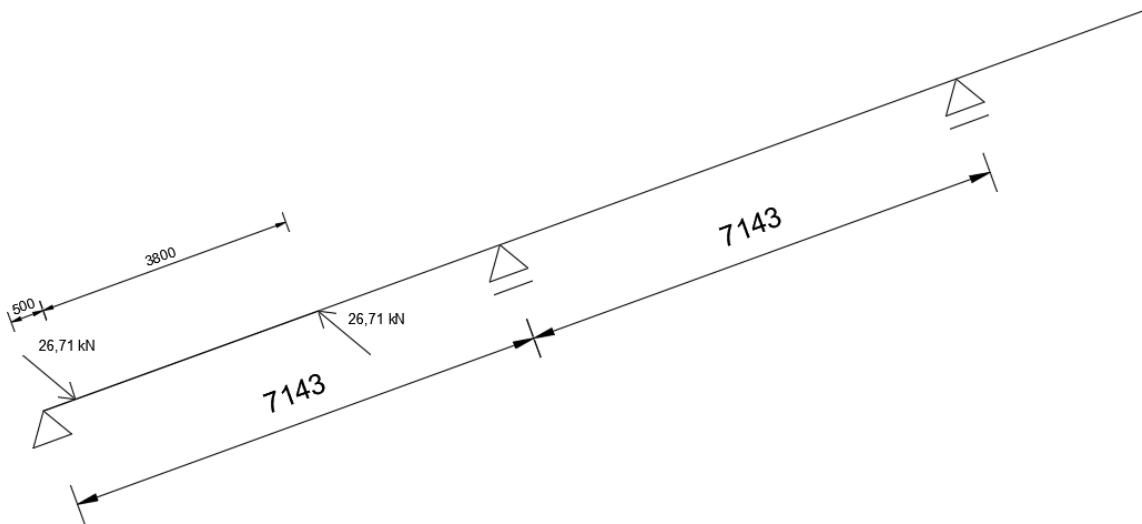
3. horizontalno uzdužno pokretno opterećenje



Slika 30.: Shema za horizontalno uzdužno pokretno opterećenje

4. horizontalno bočno pokretno opterećenje

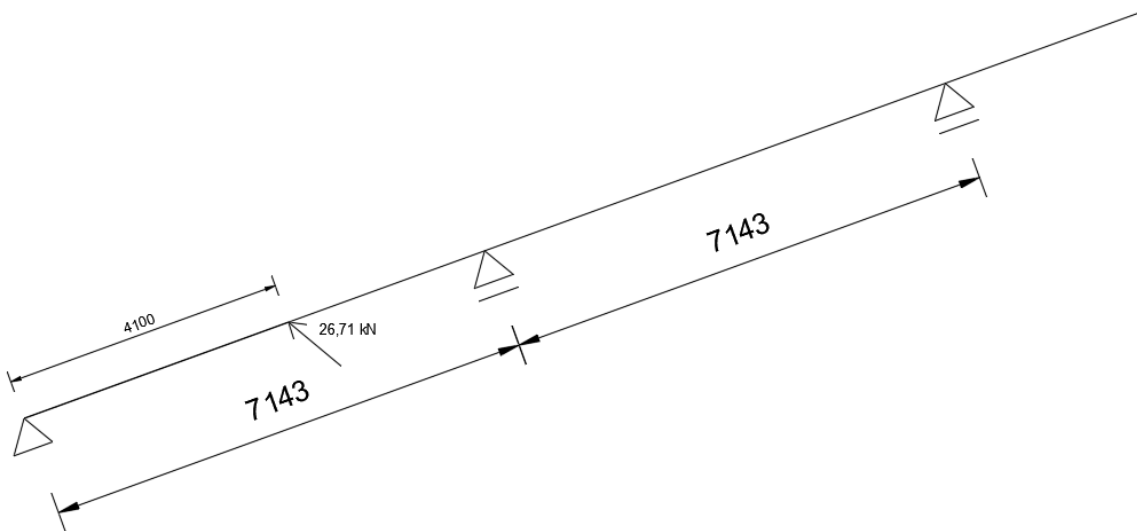




Slika 31.: Shema za horizontalno bočno pokretno opterećenje

5. horizontalno bočno pokretno opterećenje uslijed skošenja kрана

-



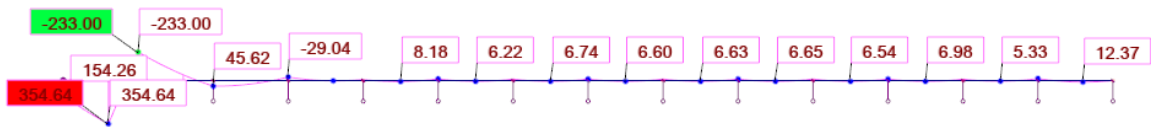
Slika 32.: Shema horizontalnog bočnog pokretnog opterećenja uslijed skošenja kрана



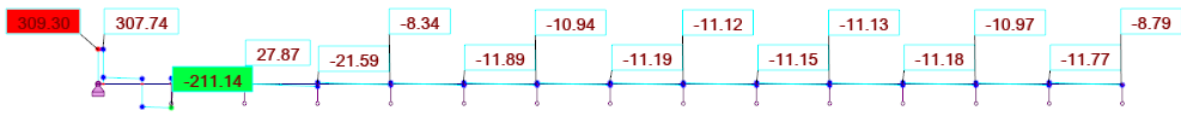
Slika 33.: Statički sustav kranske staze

Rezultati računalne analize

4.3.1 Za najveće vertikalno pokretno opterećenje  $Q_{r,max} = 249,08 \text{ kN}$



Slika 34.: Moment savijanja  $M_y$

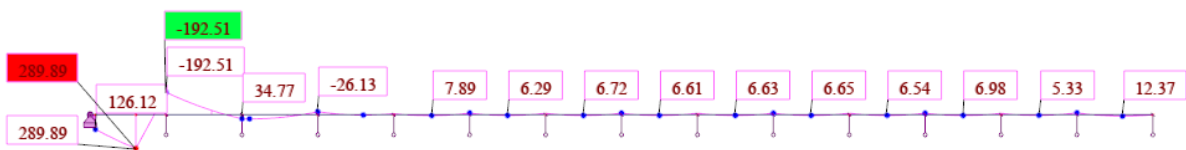


Slika 35.: Poprečna sila  $V_z$

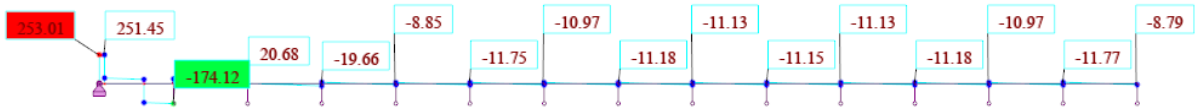
Mjerodavno:  $M_y = 354,64 \text{ kNm}$

$V_z = 309,30 \text{ kN}$

4.3.2 Za najmanje vertikalno pokretno opterećenje  $Q_{r,max} = 202,43 \text{ kN}$



Slika 36.: Moment savijanja  $M_y$

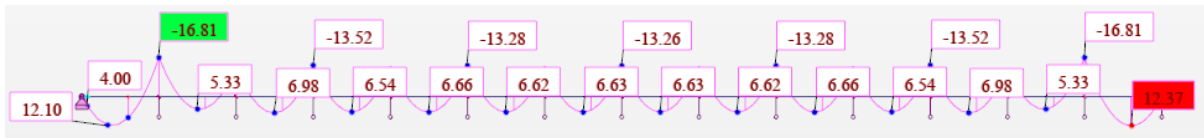


Slika 37.: Poprečna sila Vz

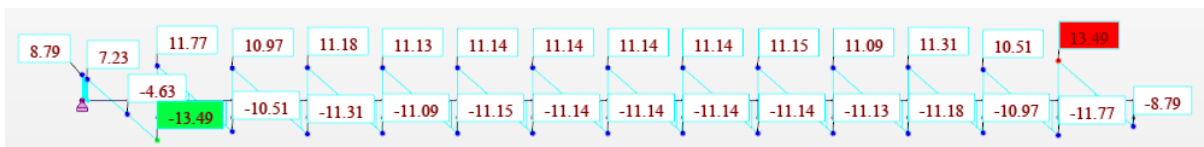
Mjerodavno:  $M_y = 289,89 \text{ kNm}$

$V_z = 253,01 \text{ kN}$

#### 4.3.3 Za horizontalno uzdužno pokretno opterećenje $H_{L1} = 6,74 \text{ kN}$



Slika 38.: Moment savijanja My



Slika 39.: Poprečna sila Vz

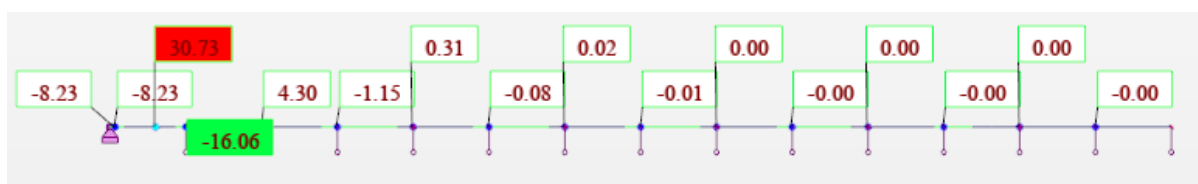


Slika 40.: Uzdužna sila N

Mjerodavno:  $N = -6,74 \text{ kN}$

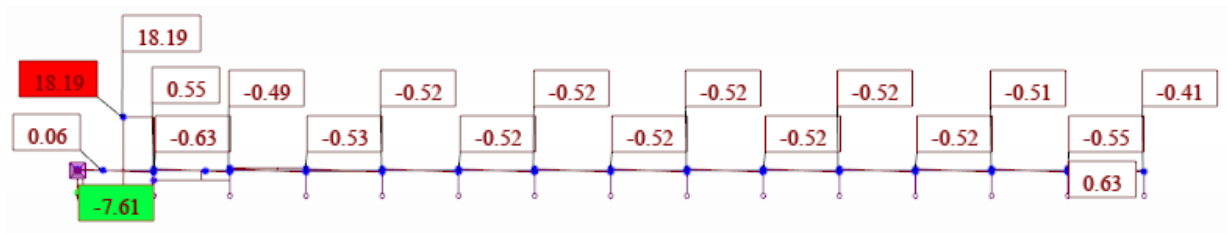
$M_y = 16,81 \text{ kNm}$

$V_z = 13,49 \text{ kN}$

4.3.4 Za horizontalno bočno pokretno opterećenje  $H_{T2} = 26,71$  kNSlika 41.: Moment savijanja  $M_z$ Slika 42.: Poprečna sila  $V_y$ Mjerodavno:  $M_z = 30,73$  kNm

$$V_y = 16,46 \text{ kN}$$

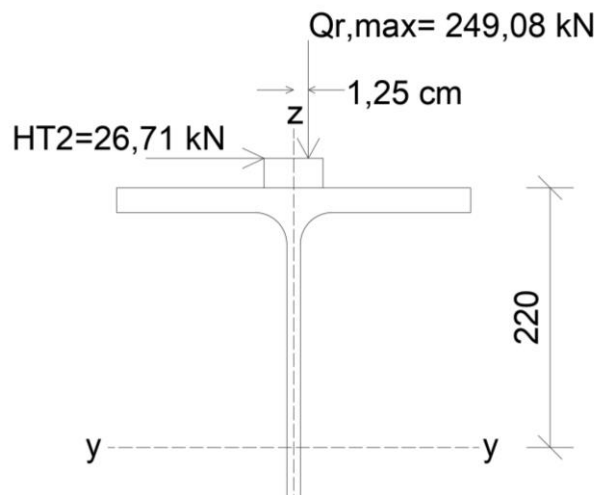
4.3.5 Za horizontalno bočno pokretno opterećenje uslijed skošenja kрана  $H_{S,1T} = 25,80$  kNSlika 43.: Moment savijanja  $M_z$

Slika 44.: Poprečna sila  $V_y$ 

Mjerodavno:  $M_z = 32,74 \text{ kNm}$

$$V_y = 18,19 \text{ kN}$$

#### 4.3.6 Moment torzije zbog ekscentričnosti opterećenja



Slika 45.: Ekscentrično djelovanje horizontalnog i vertikalnog opterećenja

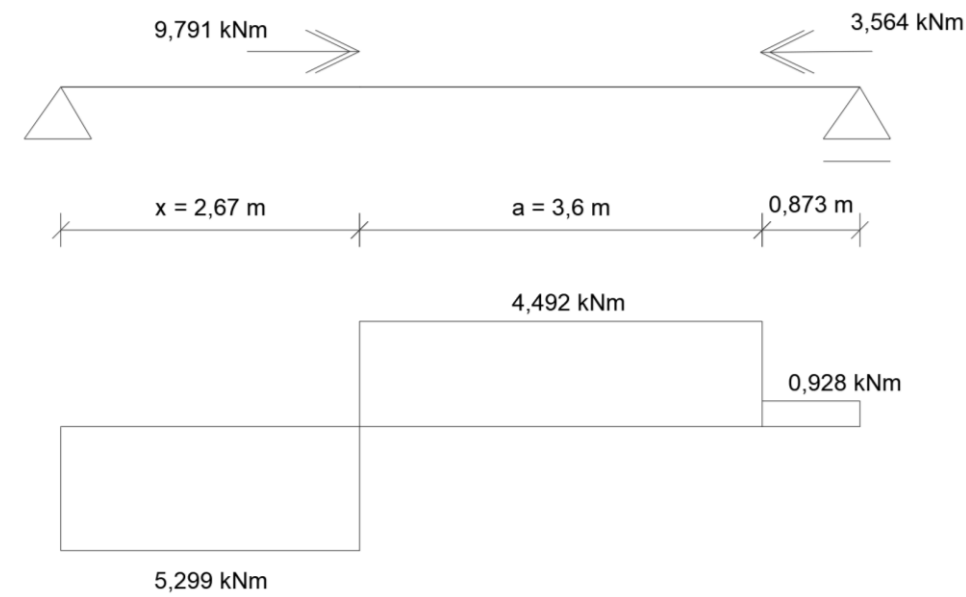
$$e_y = 1/4 \cdot b_g = 1/4 \cdot 5 = 1,25 \text{ cm}$$

$$e_z = 22,5 + 2,5 = 25 \text{ cm}$$

$$M_{tA} = 249,08 \cdot 1,25 + 26,71 \cdot 25 = 979,1 \text{ kNcm} = 9,791 \text{ kNm}$$

$$M_{tB} = 249,08 \cdot 1,25 - 26,71 \cdot 25 = -356,4 \text{ kNcm} = -3,564 \text{ kNm}$$

$$x = (2 \cdot L - a) / 4 = (2 \cdot 7,143 - 3,6) / 4 = 2,67 \text{ m}$$



Slika 46.: Dijagram momenata torzije kranske staze

Mjerodavna kombinacija opterećenja

Kombinacija 1

$$M_{y,Ed} = 1,35 \cdot (354,64 + 16,81) = 501,46 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot 309,30 = 417,56 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 1,35 \cdot 30,73 = 56,38 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot 16,46 = 22,22 \text{ kN}$$

$$N_{x,Ed} = 1,35 \cdot (-6,74) = -9,10 \text{ kN}$$

$$M_{t,Ed} = 1,35 \cdot 5,299 = 7,15 \text{ kNm}$$

## Kombinacija 2

$$M_{y,Ed} = 1,35 \cdot (289,89 + 16,81) = 414,05 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 1,35 \cdot (253,01 + 13,49) = 359,78 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 1,35 \cdot 32,74 = 44,20 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \cdot 18,19 = 24,56 \text{ kN}$$

$$N_{x,Ed} = 1,35 \cdot (-6,74) = -9,10 \text{ kN}$$

#### 4.4 Preliminarno dimenzioniranje (GSU)

Promatramo samo prvo polje za vertikalno pokretno opterećenje  $Q_{r,max} = 249,08 \text{ kN}$ . Razmak glavnih nosača je  $L = 7,143 \text{ m}$ .

- Dopušteni progib:  $f = \frac{L}{250} = \frac{714,3}{250} = 2,86 \text{ cm}$

Maksimalni progib



Slika 47.: Progib kranske staze

$f_{max} = 11 \text{ mm} < f = 28,6 \text{ mm}$  Uvjet je zadovoljen.

## 4.5 Dimenzioniranje kranske staze

Osnovni materijal:

S 355

Granica popuštanja:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Modul elastičnosti:  $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

Parcijalni koeficijenti:

$$\gamma_{M0} = 1.00$$

$$\gamma_{M1} = 1.00$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Razredba poprečnog presjeka:

Hrbat:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{440 - 2 \cdot 21 - 2 \cdot 27}{11,5} = 29,91$$

$$29,91 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 11,5 - 2 \cdot 27}{2}}{21} = 5,58$$

$$5,58 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu:



$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{N_{Ed}}{\frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{9,1}{\frac{178 \cdot 35,5}{1}} = 0,0014 \leq 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava na uzdužnu silu, uz iskoristivost 0,14 %.

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje:

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju oko osi y-y:

$$M_{c,Rd,y-y} = \frac{W_{pl,y-y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3216 \cdot 35,5}{1,0} = 114168 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 114168 \text{ kNcm} = 1141,68 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y-y}} \leq 1,0$$

$$\frac{501,46}{1141,68} = 0,44 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 44 %.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju oko osi z-z:

$$M_{c,Rd,z-z} = \frac{W_{pl,z-z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{965,5 \cdot 35,5}{1,0} = 34275,25 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,z-z} = 34275,25 \text{ kNcm} = 342,75 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z-z}} \leq 1,0$$

$$\frac{56,38}{342,75} = 0,16 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 16 %.

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

U smjeru osi z:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 440 - 2 \cdot 21 = 398 \text{ mm}$$

$$\eta = 1.20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{398}{11,5} = 34,61 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Uvjet zadovoljen. Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

U smjeru osi z:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

$$A_{v,z} = 130,4 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{130,44 \cdot (35,5/\sqrt{3})}{1,0} = 2673,49 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Ed}} \leq 1,0$$

$$\frac{24,56}{2673,49} = 0,009 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 0,9%.

Otpornost presjeka na dvoosno savijanje

Interakcija savijanja oko osi  $\gamma$ - $\gamma$  i poprečne sile u smjeru z-z

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$417,56 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1347,71 = 673,86 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

Interakcija savijanja oko osi z-z i poprečne sile u smjeru  $\gamma$ - $\gamma$

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

$$V_{y,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$24,56 \text{ kN} < 0,5 \cdot 2673,49 = 1336,75 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

Interakcija savijanja oko osi z-z i uzdužne sile

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$9,1 \text{ kN} < 0,25 \cdot 6319 = 1579,75 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

Interakcija savijanja oko osi  $y$ - $y$  i uzdužne sile

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$9,1 \text{ kN} < 0,25 \cdot 6390 = 1597,5 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

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

$$\alpha_y = 2$$

$$\alpha_z = 5 \cdot n = 5 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0, \text{ ali } \alpha_z \geq 1,0 \quad (\text{NAPOMENA: u starim normama } \alpha=2, \beta=5n)$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} \text{ ali } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \text{ za } n \leq a$$

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,0014$$

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \text{ ali } a \leq 0,5$$

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A = (178 - 2 \cdot 30 \cdot 2,1)/178 = 0,29$$

$$n = 0,0014 \leq a = 0,29$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} = 1141,68 \cdot \frac{1-0,0014}{1-0,5 \cdot 0,29} = 1333,43 \text{ kNm} \geq M_{pl,y,Rd} =$$

1141,68 kNm

$$M_{c,Rd,y-y} = 1141,68 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{501,46}{1141,68}\right)^2 + \left(\frac{56,38}{342,75}\right)^2 = 0,36 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 36%.

Poprečna sila uzimajući u obzir utjecaj torzije

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right) / \gamma_{M0}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

Pojasnica

$$\tau_{t,Ed} = \frac{M_{t,Ed}}{I_t} \cdot b_f = \frac{715}{243,8} \cdot 30 = 87,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right) / \gamma_{M0}}} \cdot V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{87,98}{1,25 \cdot \frac{(35,5)}{\sqrt{3}}}} \cdot 2673,49 = 4171,03 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} = \frac{24,56}{4171,03} = 0,006 \leq 1$$

Uvjet zadovoljen uz iskoristivost 0,6%.

Hrbat

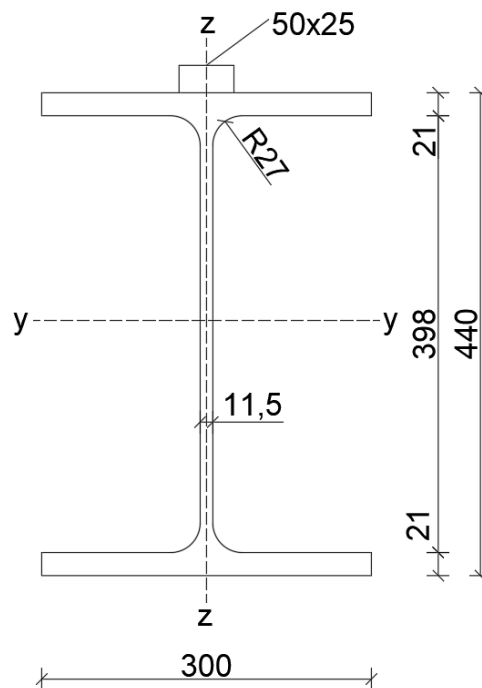
$$\tau_{t,Ed} = \frac{M_{t,Ed}}{I_t} \cdot b_f = \frac{715}{243,8} \cdot 30 = 87,98 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right) / \gamma_{M0}}} \cdot V_{pl,Rd} = \sqrt{1 - \frac{87,98}{1,25 \cdot \frac{(35,5)}{\sqrt{3}}}} \cdot 1347,71 = 2102,62 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} = \frac{417,56}{2102,62} = 0,20 \leq 1$$

Uvjet zadovoljen uz iskoristivost 20%.

#### 4.6 Gnječenje "Crushing resistance" i "Crippling" hrpta



Slika 48.: Poprečni presjek kranske staze

$$h_R = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$s_s = 2 \cdot h_R = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ cm}$$

$$h_w = 398 \text{ mm} = 39,8 \text{ cm}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{398}{11,5} = 34,6 \leq 200$$

$$\frac{r}{t_w} = \frac{27}{11,5} = 2,35 \leq 6$$

$\Phi = 90^\circ$  (kut između hrpta i pojasnice)

$$45^\circ \leq \Phi = 90^\circ \leq 90^\circ$$

$c = 500$  mm (udaljenost opterećenja od ruba nosača)

$$c = 500 \text{ mm} < 1,5 \cdot h_w = 1,5 \cdot 1200 = 1800 \text{ mm}$$

Otpornost hrpta:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_7 \cdot \left[ 8,8 + 1,1 \cdot \sqrt{\frac{s_s}{t_w}} \right] \cdot t_w^2 \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{s_s}{t_w} = \frac{50}{11,5} = 4,35 < 150 \rightarrow k_7 = 1 + \frac{h_w}{t_w \cdot 750} = 1 + \frac{398}{11,5 \cdot 750} = 1,05$$

$$R_{w,Rd} = \frac{1,05 \cdot \left[ 8,8 + 1,1 \cdot \sqrt{\frac{5}{11,5}} \right] \cdot 1,15^2 \cdot 35,5}{1} = 546,86 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

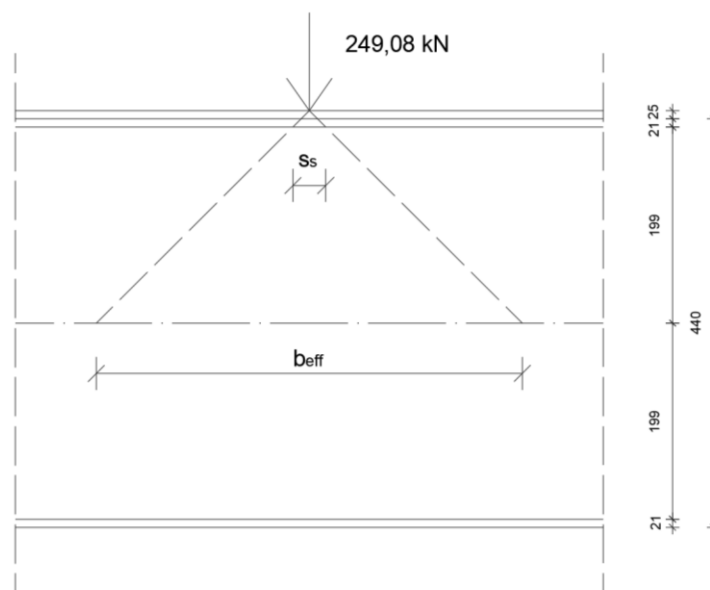
$$F_{Ed} = 1,35 \cdot 249,08 = 336,26 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 336,26 \text{ kN} \leq R_{w,Rd} = 546,86 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost 61,5 %.

#### 4.7 Globalno izbočavanje hrpta

Hrvat se promatra kao virtualni tlačni element s efektivnom širinom  $b_{eff}$



Slika 49.: Sudjelujuća širina hrpta

$$h_R = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$s_s = 2 \cdot h_R = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = \sqrt{h^2 + s^2} = \sqrt{44^2 + 5^2} = 44,28 \text{ cm}$$

Površina presjeka



$$A = b_{\text{eff}} \cdot t_w = 44,28 \cdot 1,15 = 50,92 \text{ cm}^2$$

Moment tromosti

$$I = \frac{b_{\text{eff}} \cdot t_w^3}{12} = \frac{44,28 \cdot 1,15^3}{12} = 5,61 \text{ cm}^4$$

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 EI}{L_{\text{cr}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5,61}{39,8^2} = 734,03 \text{ kN}$$

Svedena vitkost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 50,92}{734,03}} = 1,57$$

Krivulja izvijanja za zavarene presjeke,  $t_f = 21 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$  oko osi z-z je a, a faktor imperfekcije  $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(1,57 - 0,2) + 1,57^2] = 1,88$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,88 + \sqrt{1,88^2 - 1,57^2}} = 0,34$$

Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,34 \cdot \frac{50,92 \cdot 35,5}{1,0} = 614,60 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 614,60 \text{ kN} > N_{Ed} = 1,35 \cdot Q_{r,\text{max}} = 1,35 \cdot 249,08 = 336,26 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{336,26}{614,60} = 0,55 < 1$$

Iskoristivost hrpta na globalno izbočavanje je 55 %.

#### 4.8 Dokaz zavara na spoju hrbat-pojasnica

Posmično naprezanje uslijed savijanja

Najveća računaska posmična sila

$$\max V_{z,Ed} = 417,56 \text{ kN}$$

Statički moment poprečnog presjeka

$$S_y^g = S_y^d = 30 \cdot 2,1 \cdot 21,35 + 19,9 \cdot 1,15 \cdot 9,95 = 1572,76 \text{ cm}^3$$

Posmična naprezanja

$$\tau_{Ed}^g = \tau_{Ed}^d = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{417,56 \cdot 1572,76}{63720 \cdot 1,15} = 8,96 \text{ cm}^3$$

#### 4.9 Normalna naprezanja uslijed koncentrirane sile od tračnica

Širina tračnice:  $b_{fr} = 5 \text{ cm}$

Istrošenost tračnice: (25% od  $h_r$  tj.  $t_r$ )  $\Delta t_r = 0,25 \cdot 2,5 = 0,625 \text{ cm}$

Razmak između gornjeg ruba tračnice i gornjeg ruba hrpta

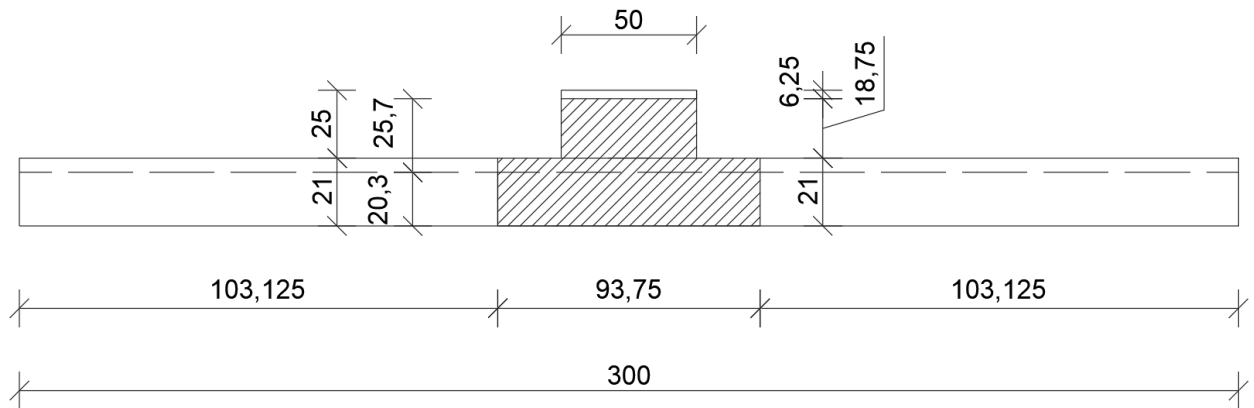
$$d_r = t_r - \Delta t_r + t_r = 2,5 - 0,625 + 2,5 = 4,375 \text{ cm}$$

Efektivna širina

$$b_{eff} = b_{fr} + d_r = 5 + 4,375 = 9,375 \text{ cm} < 45 \text{ cm}$$

Položaj težišta

$$y_t = \frac{9,375 \cdot 2,1 \cdot 1,55 + 5 \cdot 1,875 \cdot 3,038}{9,375 \cdot 2,1 + 1,875 \cdot 5} = 2,03 \text{ cm}$$



Slika 50.: Sudjelujući presjek

Moment tromosti

$$I_{rf} = \frac{9,375 \cdot 2,1^3}{12} + 9,375 \cdot 2,1 \cdot 0,7^2 + \frac{5 \cdot 1,875^3}{12} + 5 \cdot 1,875 \cdot 2,64^2 = 84,97 \text{ cm}^4$$

Efektivna dužina vara

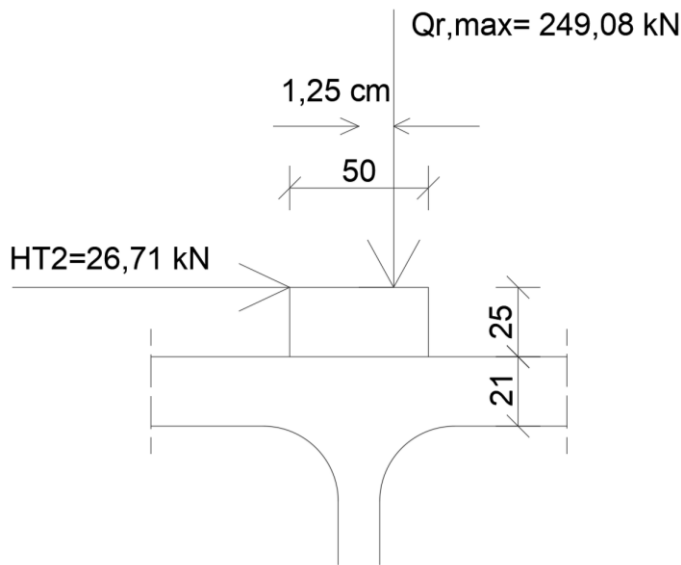
$$l_{\text{eff}} = 3,25 \cdot \left[ \frac{I_{rf}}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,25 \cdot \left[ \frac{84,97}{1,15} \right]^{\frac{1}{3}} = 13,64 \text{ cm}$$

Normalno naprezanje uslijed koncentrirane sile od kotača

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{t_w \cdot l_{\text{eff}}} = \frac{249,08}{1,15 \cdot 13,64} = 15,88 \text{ kN/cm}^2$$

(NAPOMENA: prema starim normama  $\sigma_w = \frac{Q_{r,max}}{t_w \cdot l_{\text{eff}}}$ , u novoj normi  $F_{z,Ed}$  predstavlja računsku vrijednost opterećenja od kotača)

## 4.10 Normalna naprezanja (poprečno na os vara) uslijed torzije pojasnice



Slika 51.: Shema opterećenja za torziju pojasnice

Moment torzije na spoju hrpta i pojasnice

$$M_{t,Ed} = 249,08 \cdot 1,25 + 26,71 \cdot 4,6 = 434,2 \text{ kNcm}$$

Poprečna rebra za ukrućenje nalaze se na ležajevima, tj.  $a = 7,143 \text{ m}$

$$c_T = \left[ \frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_t} \cdot \frac{\sinh\left(\frac{\pi \cdot h_w}{a}\right)^2}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot h_w}{a}} \right]^{0.5} = \left[ \frac{0,75 \cdot 714,3 \cdot 1,15^3}{271,4} \cdot \frac{0,227}{0,144} \right]^{0.5} = 2,18$$

(NAPOMENA: prema starim normama umjesto  $c_T$  je oznaka  $\eta$ , ali izraz ostaje isti)

$$\eta = \left[ \frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_t} \cdot \frac{\sinh\left(\frac{\pi \cdot h_w}{a}\right)^2}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot h_w}{a}} \right]^{0.5}$$

$$\sinh\left(\frac{\pi \cdot h_w}{a}\right)^2 = \sinh\left(\frac{\pi \cdot 39,8}{714,3}\right)^2 = 0,227$$

$$\sinh\left(\frac{2\pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot h_w}{a} = \sinh\left(\frac{2\pi \cdot 39,8}{714,3}\right) - \frac{2\pi \cdot 39,8}{714,3} = 1,1475 - 1,0034 = 0,144$$

Torzijska konstanta pojasnice i tračnice koja je istrošena i nepopustljivo spojena

$$I_t = \frac{1}{3}(50 \cdot 2,5^3 + 5 \cdot 1,875^3) = 271,4 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot M_{t,Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot c_T \cdot \tanh(c_T) = \frac{6 \cdot 434,2}{714,3 \cdot 1,15^2} \cdot 2,18 \cdot \tanh(0,424) = 4,41 \text{ kN/cm}^2$$

**(NAPOMENA: prema starim normama izraz ostaje isti, ali oznake su drugačije)**

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{6 \cdot M_{t,Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta)$$

Rezultirajuće naprezanje - dokaz:

$$\Delta\sigma_{Ed} = \left| \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_{w,Ed}^2} + \tau_w^2 \right|^{0.5} = \left| \sqrt{15,58^2 + 4,41^2} + 8,96^2 \right|^{0.5} = 9,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{49}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 25,15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{Ed} \leq f_{v,wd}$$

$$\Delta\sigma_{Ed} = 9,82 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{v,wd} = 25,15 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

#### 4.11 Dokaz nosača kranske staze na GSU

Očitana vrijednost najvećeg progiba:  $\delta_z = 11 \text{ mm}$

Dopušteni progib:  $\delta_{z,\max} = L/600 = 714,3/600 = 1,19 \text{ cm} = 11,9 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$

Uvjet:  $\delta_z = 11 \text{ mm} < \delta_{z,\max} = 11,9 \text{ mm} \rightarrow$  uvjet zadovoljen

#### 4.12 Dokaz otpornosti na umor

(NAPOMENA: Usvojeno je  $2 \cdot 10^6$  ciklusa uz pretpostavku da kran dnevno odradi 100 ciklusa, dok bi dokaz trebao vrijediti za uporabni vijek od 55 godina. Budući da su nove norme za proračun elemenata na umor nedovršene, korištene su stare norme.)

Ekvivalentno opterećenje

$$Q_{e,i} = \varphi_{fat} \cdot \lambda_i \cdot Q_{max,i}$$

Klasa umornosti S3

$\lambda_i = 0,397 \rightarrow$  normalna naprezanja

$\lambda_i = 0,575 \rightarrow$  posmična naprezanja

Dinamički faktor umaranja

$$\varphi_{fat} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,25}{2} = 1,125$$

Ekvivalentna opterećenja

$$Q_{e,i} = 1,125 \cdot 0,397 \cdot 249,08 = 111,25 \text{ kN}$$

$$Q_{e,i} = 1,125 \cdot 0,575 \cdot 249,08 = 161,13 \text{ kN}$$

**Normalna naprezanja**

Usljed koncentriranog djelovanja kotača

Širina tračnice:  $b_{fr} = 5 \text{ cm}$

Istrošenost tračnice: (uzimamo pola vrijednosti od usvojenih 25% od  $h_r$  tj.  $t_r$ )

$$\Delta t_r = 0,125 \cdot 2,5 = 0,313 \text{ cm}$$

Razmak između gornjeg ruba tračnice i gornjeg ruba hrpta

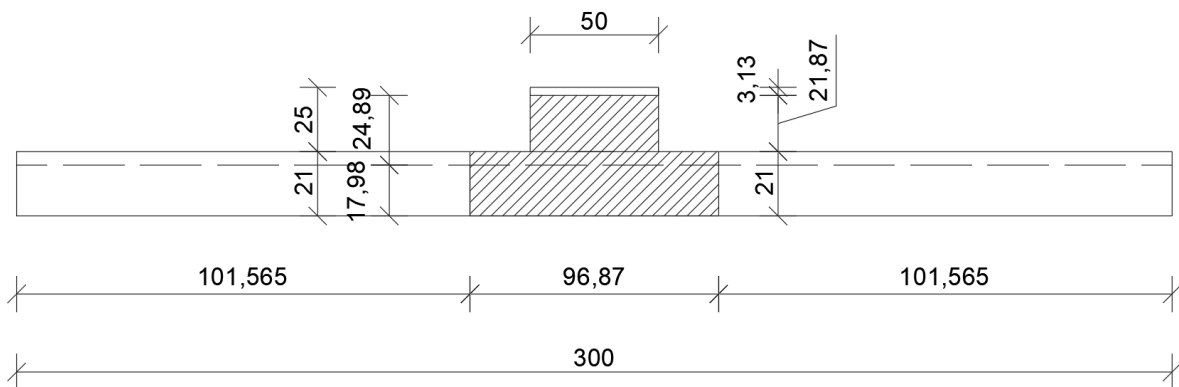
$$d_r = t_f - \Delta t_r + t_f = 2,5 - 0,313 + 2,5 = 4,687 \text{ cm}$$

Efektivna širina

$$b_{eff} = b_{fr} + d_r = 5 + 4,687 = 9,687 \text{ cm} < 45 \text{ cm}$$

Položaj težišta

$$y_t = \frac{9,687 \cdot 2,1 \cdot 1,05 + 5 \cdot 2,187 \cdot 3,19}{9,687 \cdot 2,1 + 2,187 \cdot 5} = 1,798 \text{ cm}$$



Slika 52.: Sudjelujući presjek

Moment tromosti

$$I_{rf} = \frac{9,687 \cdot 2,1^3}{12} + 9,687 \cdot 2,1 \cdot 0,748^2 + \frac{5 \cdot 2,187^3}{12} + 5 \cdot 2,187 \cdot 2,489^2 = 90,96 \text{ cm}^4$$

Efektivna dužina vara

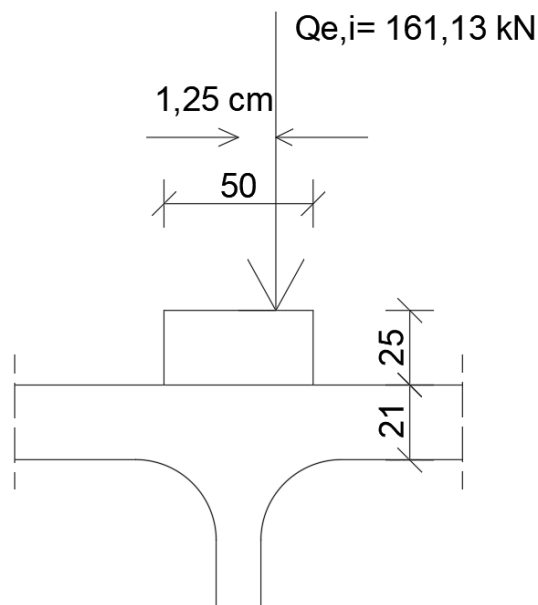
$$l_{eff} = 3,25 \cdot \left[ \frac{I_{rf}}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,25 \cdot \left[ \frac{90,96}{1,15} \right]^{\frac{1}{3}} = 13,95 \text{ cm}$$

Normalna sila uslijed koncentrirane sile od kotača

$$\sigma_1 = \frac{Q_{e,i}}{t_w \cdot l_{eff}} = \frac{161,13}{1,15 \cdot 13,95} = 6,93 \text{ kN/cm}^2$$

Uslijed ekscentričnog djelovanja opterećenja kotačem na tračnicu

-



Slika 53.: Shema opterećenja za ekscentrično djelovanje

Ekscentricitet:

$$e_y = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ cm} = 12,5 \text{ mm}$$

Moment torzije na spoju hrpta i pojasnice

$$M_{t,Ed} = 161,13 \cdot 1,25 = 201,41 \text{ kNcm}$$



Poprečna rebra za ukrućenje nalaze se na ležajevima, tj.  $a = 7,143$  m

$$\eta = \left[ \frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_t} \cdot \frac{\sinh\left(\frac{\pi \cdot h_w}{a}\right)^2}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot h_w}{a}} \right]^{0.5} = \left[ \frac{0,75 \cdot 714,3 \cdot 1,15^3}{277,85} \cdot \frac{0,227}{0,144} \right]^{0.5} = 2,15$$

$$\sinh\left(\frac{\pi \cdot h_w}{a}\right)^2 = \sinh\left(\frac{\pi \cdot 39,8}{714,3}\right)^2 = 0,227$$

$$\sinh\left(\frac{2\pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot h_w}{a} = \sinh\left(\frac{2\pi \cdot 39,8}{714,3}\right) - \frac{2\pi \cdot 39,8}{714,3} = 1,1475 - 1,0034 = 0,144$$

Torzijska konstanta pojasnice i tračnice koja je istrošena i nepopustljivo spojena

$$I_t = \frac{1}{3} (50 \cdot 2,5^3 + 5 \cdot 2,187^3) = 277,85 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot M_{t,Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = \frac{6 \cdot 201,41}{714,3 \cdot 1,15^2} \cdot 2,15 \cdot \tanh(2,15) = 0,78 \text{ kN/cm}^2$$

Procjena umornosti uslijed normalnih naprezanja

Razlika naprezanja uslijed normalnih naprezanja:

$$\Delta\sigma_{E2} = \sigma_1 + \sigma_2 = 6,93 + 0,78 = 7,71 \text{ kN/cm}^2$$

Zavar na spoju pojasnice i hrpta i profila spada u kategoriju detalja 100:

$$\Delta\sigma_c = 100 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kN/cm}^2$$

Uvjet umornosti:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}$$

$$1 \cdot 7,71 = 7,71 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{10}{1,25} = 8 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

### Posmična naprezanja

Posmična naprezanja uslijed savijanja

Najveća poprečna sila uslijed  $Q_{e,i}$ :

$$\max V_{z,Ed} = 1,125 \cdot 0,575 \cdot 203,19 = 131,44 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna sila uslijed  $Q_{e,i}$ :

$$\min V_{z,Ed} = 1,125 \cdot 0,575 \cdot (-141,35) = -91,44 \text{ kN}$$

Najveća razlika naprezanja

$$\Delta\tau_1 = \frac{(\max V_{z,Ed} - \min V_{z,Ed}) \cdot S_y}{t_w \cdot I_y} = \frac{(131,44 + 91,44) \cdot (30 \cdot 2,1 \cdot 20,95)}{1,15 \cdot 63720} = 3,51 \text{ kN/cm}^2$$

Dodatna posmična naprezanja uslijed koncentriranog opterećenja kotačem

$$\Delta\tau_2 = 0,2 \cdot \sigma_1 = 0,2 \cdot 6,93 = 1,386 \text{ kN/cm}^2$$

Procjena umornosti uslijed posmičnih naprezanja

Naponska razlika posmičnih naprezanja

$$\Delta\tau_{E,2} = |\tau_{p,max} - \tau_{p,min}| = |(\tau_1 + \tau_2) - 0| = |3,51 + 1,386| = 4,896 \text{ kN/cm}^2$$

Zavar na spoju pojasnice i hrpta I profila spada u kategoriju detalja 100:

$$\Delta\tau_c = 100 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kN/cm}^2$$

Uvjet umornosti:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}$$

$$1 \cdot 4,896 = 4,896 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{10}{1,25} = 8 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Interakcija normalnih i posmičnih naprezanja

$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} \right)^5 \leq 1$$

$$\left( \frac{7,71}{8} \right)^3 + \left( \frac{4,896}{8} \right)^5 = 0,981 \leq 1 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

## 5 PRORAČUN KONZOLNOG NOSAČA

### 5.1 Analiza opterećenja

Vlastita težina konzole (HEA 240):

$$g_{Ed} = 1,35 \cdot 60,3 \cdot 9,81 = 798,58 \text{ N/m} = 0,799 \text{ kN/m}$$

Površina poprečnog presjeka nosača kranske staze i šine:

$$A = 178 + 5 \cdot 2,5 = 190,5 \text{ cm}^2 = 0,01905 \text{ m}^2$$

Raspon nosača kranske staze:

$$L = 7,143 \text{ m}$$

Vlastita težina kranske staze:

$$g_{Ed} = 1,35 \cdot 0,01905 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1980,47 \text{ N/m} = 1,981 \text{ kN/m}$$

Koncentrirano opterećenje nosača kranske staze i šine na konzolni nosač:

$$G_{Ed} = 1,981 \cdot 7,143 = 14,15 \text{ kN}$$

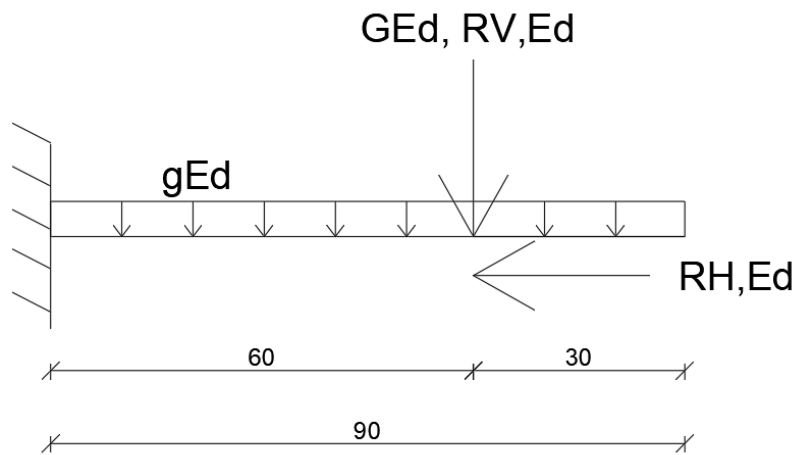
Opterećenje kranom:

maksimalna reakcija na ležaju od nosača kranske staze

$$R_{V,Ed} = 1,35 \cdot 249,08 = 336,258 \text{ kN}$$

uzdužna sila

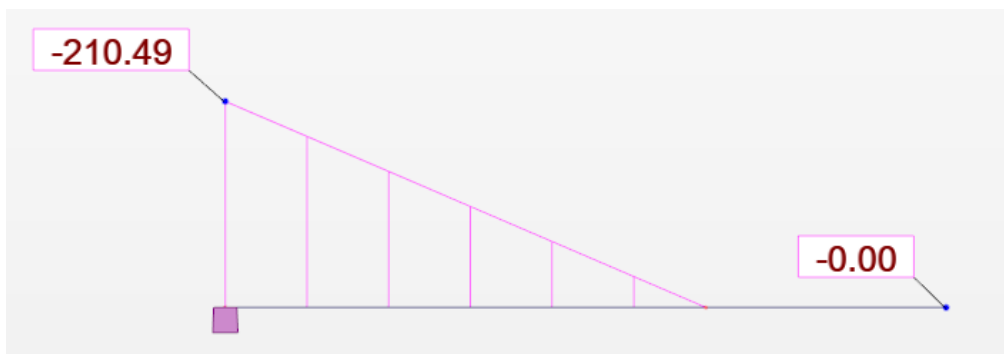
$$R_{H,Ed} = 1,35 \cdot 16,46 = 22,22 \text{ kN}$$



Slika 54.: Statički sustav konzolnog nosača

Reakcije:

Moment savijanja



Slika 55.: Moment savijanja konzolnog nosača

Poprečna sila



Slika 56.: Poprečna sila konzolnog nosača

Uzdužna sila

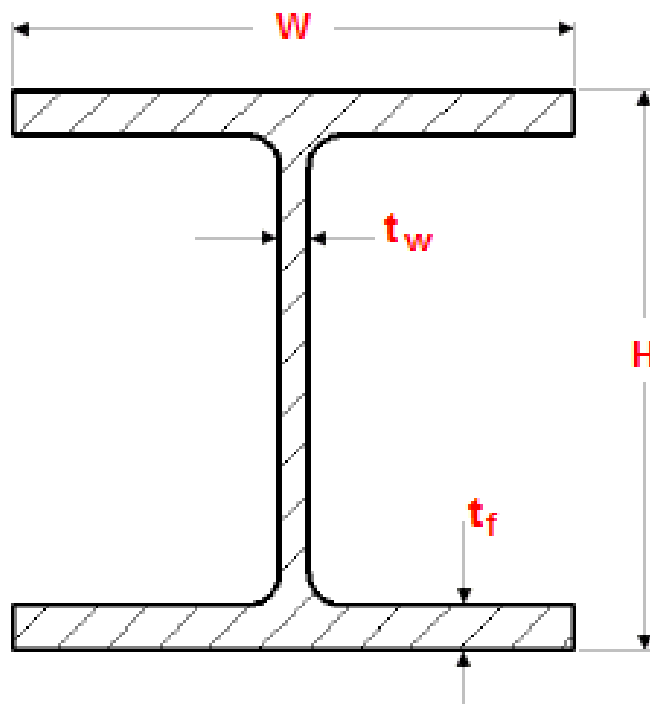


Slika 57.: Uzdužna sila konzolnog nosača

## 5.2 Dimenzioniranje konzolnog nosača

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Poprečni presjek:



Slika 58.: Poprečni presjek

**Ulazni podaci:**

Odabrani profil:	HEA 240
Tip poprečnog presjeka:	VALJANI
Površina poprečnog presjeka:	$A=76,84 \text{ cm}^2$
Prostorna težina:	$G=60,3 \text{ kg/m}$
Moment tromosti:	$I_z=2769 \text{ cm}^4$ $I_y=7763 \text{ cm}^4$
Plastični moment otpora:	$W_{pl,y}=744,6 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z}=351,7 \text{ cm}^3$
Konstanta krivljenja:	$I_w=328,5 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$
Torzijska konstanta:	$I_t=41,55 \text{ cm}^4$
Visina presjeka:	$h=230 \text{ mm}$
Širina pojasnice:	$b=240 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f=12 \text{ mm}$
Radius:	$r=21 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w=7,5 \text{ mm}$
Radius tromosti:	$i_y=10,55 \text{ cm}$ $i_z=6,00 \text{ cm}$

**Osnovni materijal:**S 355 ;  $t \leq 40 \text{ mm}$ Granica popuštanja:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ Modul elastičnosti:  $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ **Parcijalni koeficijenti:**

$$\gamma_{M0} = 1.00$$

$$\gamma_{M1} = 1.00$$

Razredba poprečnog presjeka:

Hrbat:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{230 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 21}{7,5} = 21,87$$

$$21,87 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{t_f} = \frac{240 - 7,5 - 2 \cdot 21}{12} = 7,94$$

$$7,94 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1$$

Pojasnica je svrstana u klasu 2.

Poprečni presjek je klase 2.

Otpornost poprečnog presjeka:

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{76,84 \cdot 35,5}{1,0} = 2727,82 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{22,22}{2727,82} = 0,008 \leq 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava na tlak, uz iskoristivost 0,8%.



Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju oko osi y-y:

$$M_{c,Rd,y-y} = M_{pl,Rd,y-y} = \frac{W_{pl,y-y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{744,6 \cdot 35,5}{1,0} = 26433,3 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 26433,3 \text{ kNcm} = 264,33 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y-y}} \leq 1,0$$

$$\frac{210,49}{264,33} = 0,80 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 80 %.

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 230 - 2 \cdot 12 = 206 \text{ mm}$$

$$\eta = 1.20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{206}{7,5} = 27,47 < 72 \cdot \frac{0,81}{1.20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 76,84 - 2 \cdot 24 \cdot 1,2 + (0,75 + 2 \cdot 2,10) \cdot 1,2 = 25,18 \text{ cm}^2$$

$$25,18 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 20,6 \cdot 0,75 = 18,54 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{25,18 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 516,09 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{350,94}{516,09} = 0,68 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 68 %.

Interakcija savijanja oko osi  $y-y$  i poprečne sile u smjeru  $z-z$

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$350,94 \text{ kN} < 0,5 \cdot 516,09 = 258,05 \text{ kN}$$

Potrebna redukcija.

$$f_{y,red} = (1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0,13) \cdot 35,5 = 30,885 \text{ kN/cm}^2$$

$$\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 350,94}{516,09} - 1 \right)^2 = 0,13$$

Interakcija savijanja oko osi y-y i uzdužne sile

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$22,22 \text{ kN} < 0,25 \cdot 2727,82 = 681,96 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

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

$$22,22 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 20,6 \cdot 0,75 \cdot 35,5}{1} = 274,24 \text{ kN} \rightarrow \text{Nema redukcije!}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,N,y,Rd}} \leq \frac{210,49}{264,33} = 0,8 \leq 1 \rightarrow \text{Zadovoljava!}$$

Zbog smanjenja otpornosti poprečnog presjeka radi se nova provjera otpornosti presjeka s vrijednosti  $f_{y,red} = 30,885 \text{ kN/cm}^2$ .

Otpornost poprečnog presjeka:

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{76,84 \cdot 30,885}{1,0} = 2373,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{22,22}{2373,20} = 0,009 \leq 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava na tlak, uz iskoristivost 0,9%.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju oko osi y-y:

$$M_{c,Rd,y-y} = M_{pl,Rd,y-y} = \frac{W_{pl,y-y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{744,6 \cdot 30,885}{1,0} = 22996,97 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 22996,97 \text{ kNcm} = 229,97 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y-y}} \leq 1,0$$

$$\frac{210,49}{229,97} = 0,92 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 92 %.

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 230 - 2 \cdot 12 = 206 \text{ mm}$$

$$\eta = 1.20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{206}{7,5} = 27,47 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 76,84 - 2 \cdot 24 \cdot 1,2 + (0,75 + 2 \cdot 2,10) \cdot 1,2 = 25,18 \text{ cm}^2$$

$$25,18 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 20,6 \cdot 0,75 = 18,54 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{25,18 \cdot (30,885 / \sqrt{3})}{1,0} = 449 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Ed}} \leq 1,0$$

$$\frac{350,94}{449} = 0,78 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 78 %.

**Otpornost elementa:**

Izvijanje:

Duljine izvijanja:

$$L_{i,y} = 0,90 \text{ m}$$

$$L_{i,z} = 0,90 \text{ m}$$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7763}{90^2} = 198638,58 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2769}{90^2} = 70852,79 \text{ kN}$$

Bezdimenzionalna vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{90}{10,05} \cdot \frac{1}{81,92} = 0,109$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{90}{6,00} \cdot \frac{1}{81,92} = 0,183$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{21000}{30,885}} = 81,92$$

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

$$t_f < 100 \text{ mm}$$

→ krivulja izvijanja b →  $\alpha = 0,34$

Faktor redukcije:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,109 - 0,2) + 0,109^2]$$

$$\phi_y = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,183 - 0,2) + 0,183^2]$$

$$\phi_z = 0,51$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,49 + \sqrt{0,49^2 - 0,109^2}} = 1,03 > 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,51 + \sqrt{0,51^2 - 0,183^2}} = 1,01 > 1$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{76,84 \cdot 30,885}{1,0} = 2373,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{22,22}{2373,20} = 0,009 \leq 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 0,9%.

## 6 PRORAČUN PODROŽNICE

Podaci o poprečnom presjeku

Preliminarni odabir: IPE 200

Razmak glavnih nosača (razmak oslonaca) : 7,143 m

Duljina hale (duljina podrožnice) : 100 m

Prilikom postupka proračuna opterećenja na jednu podrožnicu upotrijebio se razmak podrožnica 2,083 m.

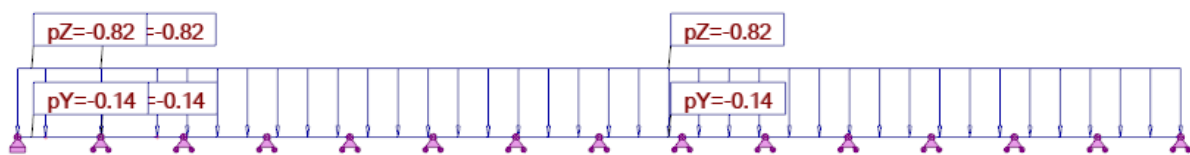
### 6.1 Analiza opterećenja

#### 1. Stalno

- Vlastita težina
- Težina pokrova (Panel deck)  $g_k = 0,102 \cdot 2,083 = 0,212 \text{ kN/m}$
- Težina instalacija  $g_{ins} = 0,3 \cdot 2,083 = 0,625 \text{ kN/m}$
- 
- $g = 0,837 \text{ kN/m}$

$$\text{smjer } y: g_y = g \cdot \sin(10^\circ) = 0,837 \cdot \sin(10^\circ) = 0,145 \text{ kN/m}$$

$$\text{smjer } z: g_z = g \cdot \cos(10^\circ) = 0,837 \cdot \cos(10^\circ) = 0,824 \text{ kN/m}$$



Slika 59.: Shema opterećenja za stalno djelovanje

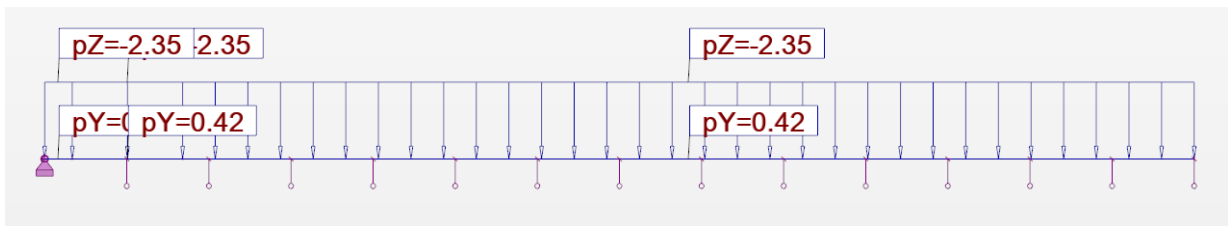
#### 2. Snijeg

- Opterećenje snijegom  $s_k = 1,13 \cdot 2,115 = 2,39 \text{ kN/m}$

$$\text{smjer } y: s_{k,y} = s_k \cdot \sin(10^\circ) = 2,39 \cdot \sin(10^\circ) = 0,415 \text{ kN/m}$$

$$\text{smjer } z: s_{k,z} = s_k \cdot \cos(10^\circ) = 2,39 \cdot \cos(10^\circ) = 2,354 \text{ kN/m}$$





Slika 60.: Shema opterećenja snijegom

### 3. Vjetar

#### Slučaj 1

- vjetar odizujući  $w_{k,1} = -0,725 \cdot 2,115 = -1,53 \text{ kN/m}$   
 $w_{k,2} = -0,314 \cdot 2,115 = -0,66 \text{ kN/m}$

#### Slučaj 2

- vjetar pritiskajući  $w_{k,1} = +0,145 \cdot 2,115 = +0,306 \text{ kN/m}$   
 $w_{k,2} = +0,145 \cdot 2,115 = +0,306 \text{ kN/m} \rightarrow \text{mjerodavno}$

#### Slučaj 3

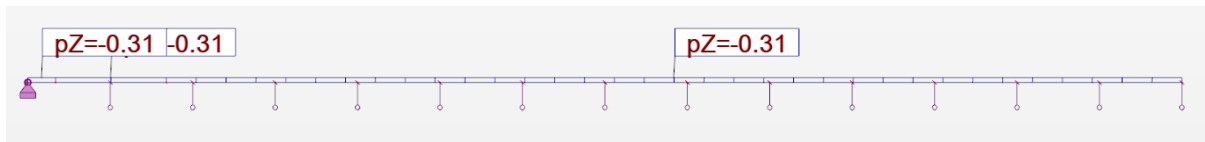
- vjetar odizujući  $w_{k1} = -0,797 \cdot 2,115 = -1,69 \text{ kN/m} \rightarrow \text{mjerodavno}$   
 $w_{k2} = -0,725 \cdot 2,115 = -1,53 \text{ kN/m}$   
 $w_{k3} = -0,411 \cdot 2,115 = -0,87 \text{ kN/m}$

#### Slučaj 4

- vjetar odizujući  $w_{k1} = -0,555 \cdot 2,115 = -1,170 \text{ kN/m}$   
 $w_{k2} = -0,483 \cdot 2,115 = -1,022 \text{ kN/m}$   
 $w_{k3} = -0,169 \cdot 2,115 = -0,357 \text{ kN/m}$

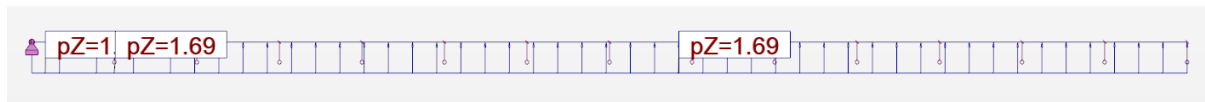
Za odizujuće djelovanje je mjerodavan slučaj 3, a za pritiskajuće slučaj 2.

#### Slučaj 2



Slika 61.: Shema opterećenja pritiskajućim vjetrom

## Slučaj 3



Slika 62.: Shema opterećenja odižućim vjetrom

## 6.2 Kombinacije djelovanja

Tablica 6.: Djelovanja

	Case	Load type			
	1:Stalno djelovanje	self-weight	Whole structure	-Z	Factor=1,00
	3:Vjetar odižući	uniform load	PX=0,0	PY=0,0	PZ=0,91
	1:Stalno djelovanje	uniform load	PX=0,0	PY=-0,14	PZ=-0,82
	2:Snijeg	uniform load	PX=0,0	PY=-0,39	PZ=-0,82
	3:Vjetar odižući	uniform load	PX=0,0	PY=0,0	PZ=1,95
	4:Vjetar pritiskajući	uniform load	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,39
	4:Vjetar pritiskajući	uniform load	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,39
	4:Vjetar pritiskajući	uniform load	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,39
	3:Vjetar odižući	uniform load	PX=0,0	PY=0,0	PZ=0,85
*					

Tablica 7. Kombinacije djelovanja

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
5 (C)	KGS1	Linear Combination	ULS	Structural	1*1.35+2*1.50+4*0.90
6 (C)	KGS2	Linear Combination	ULS	Structural	1*1.35+2*0.75+4*1.50
7 (C)	KGS 3	Linear Combination	ULS	Structural	1*1.00+3*1.50
8 (C)	GSU 1	Linear Combination	SLS	Structural	(1+2)*1.00+4*0.60
9 (C)	GSU 2	Linear Combination	SLS	Structural	(1+4)*1.00+2*0.50
10 (C)	GSU 3	Linear Combination	SLS	Structural	(1+3)*1.00

KGS 1 :

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot (\text{STALNO}) + 1,5 \cdot (\text{SNIJEG}) + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (\text{VJETAR PRITISKAJUĆI})$$

KGS 2 :

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot (\text{STALNO}) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (\text{SNIJEG}) + 1,5 \cdot (\text{VJETAR PRITISKAJUĆI})$$

KGS 3 :

$$q_{Ed} = 1,00 \cdot (\text{STALNO}) + 1,5 \cdot (\text{VJETAR ODIŽUĆI})$$

GSU 1 :

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot (\text{STALNO}) + 1,0 \cdot (\text{SNIJEG}) + 0,6 \cdot (\text{VJETAR PRITISKAJUĆI})$$

GSU 2 :

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot (\text{STALNO}) + 1,0 \cdot 0,5 \cdot (\text{SNIJEG}) + 1,0 \cdot (\text{VJETAR PRITISKAJUĆI})$$

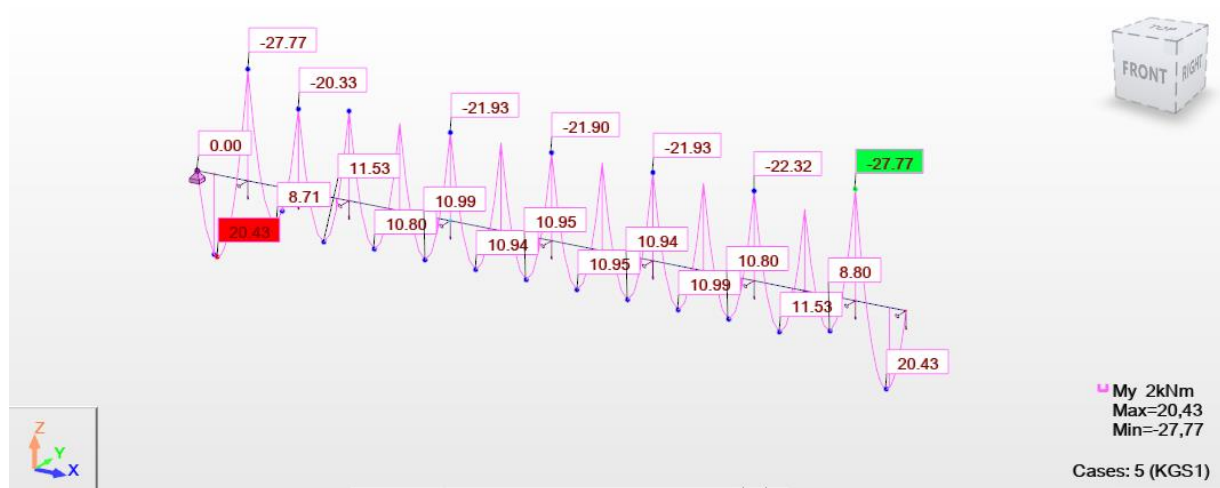
GSU 3 :

$$q_{Ed} = 1,00 \cdot (\text{STALNO}) + 1,00 \cdot (\text{VJETAR ODIŽUĆI})$$

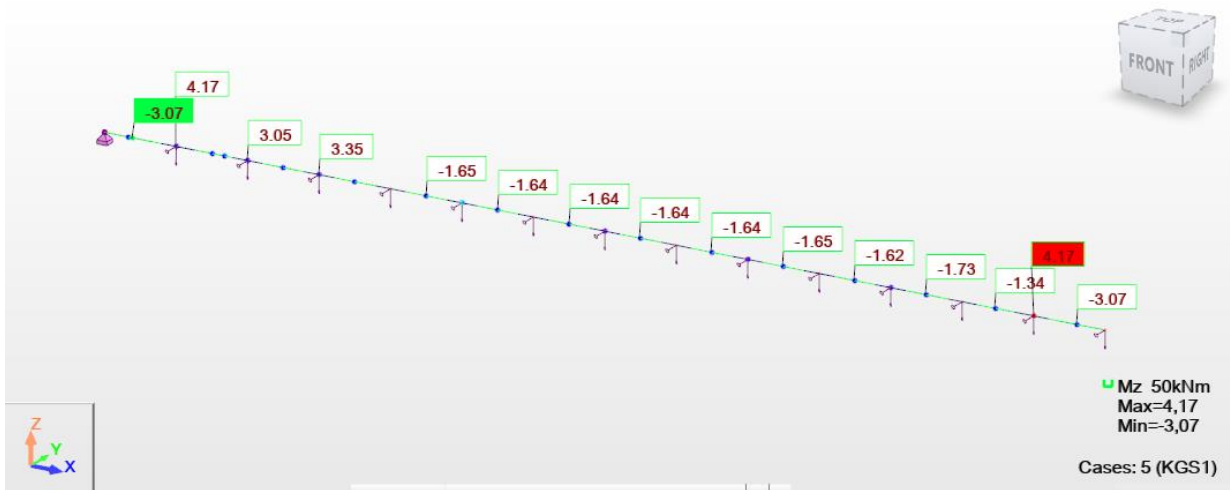
### 6.3 Proračun unutarnjih sila i momenata savijanja

Proračun reznih sila provodi se u programskom paketu Robot Structural Analysis Professional 2023.

- Momenti savijanja

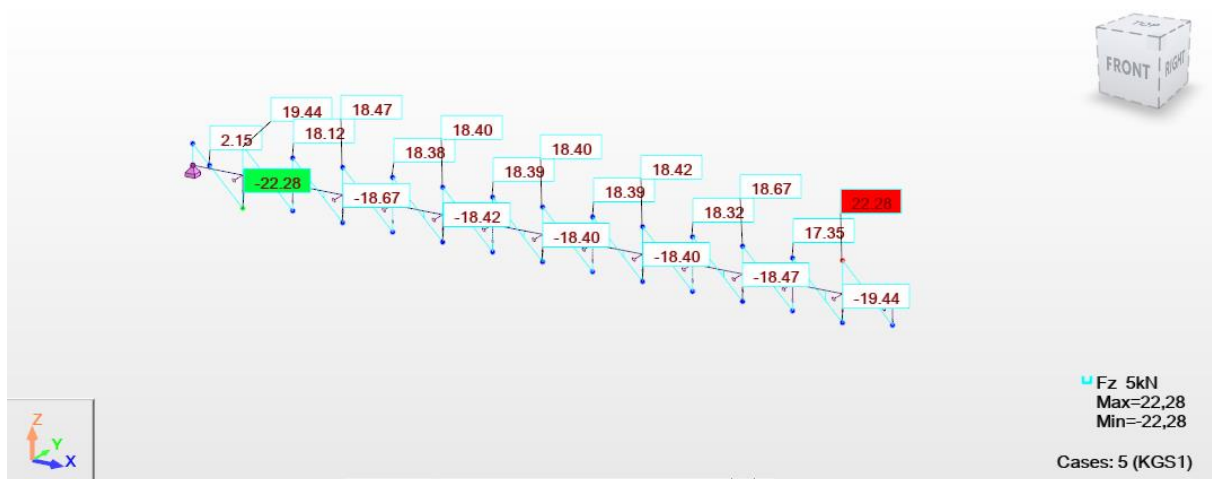


Slika 63.: Moment savijanja  $M_y$

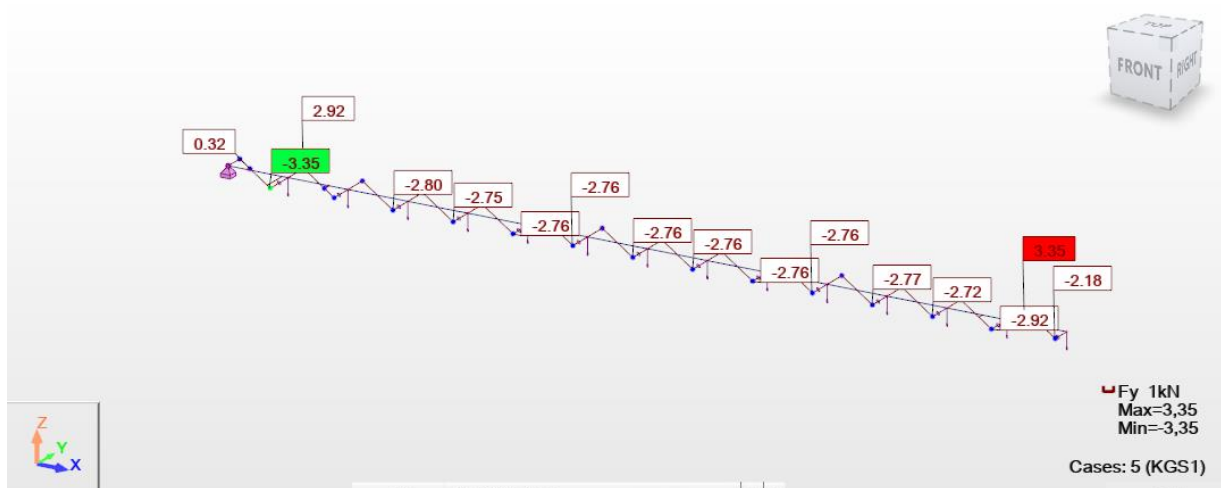


Slika 64.: Moment savijanja  $M_z$

Poprečne sile



Slika 65.: Poprečna sila  $V_z$

Slika 66.: Poprečna sila  $V_y$ 

#### 6.4 Preliminarno dimenzioniranje (GSU)

Razmak glavnih nosača je  $L = 7,143$  m.

- Dopušteni progib:

$$f = \frac{L}{250} = \frac{714,3}{250} = 2,86 \text{ cm}$$

- Maksimalni progib



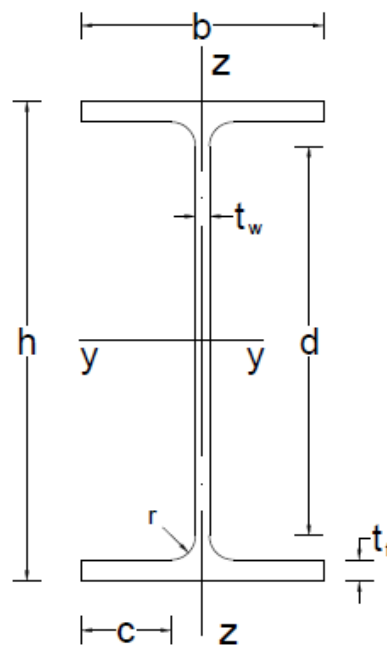
Slika 67.: Ukupni progib

$f_{\max} = 16 \text{ mm} < f = 28,6 \text{ mm}$  Uvjet je zadovoljen.

## 6.5 Dimenzioniranje podrožnice

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Poprečni presjek:



Slika 68.: Poprečni presjek podrožnice

Ulazni podaci:

Odabrani profil:	IPE 200
Tip poprečnog presjeka:	VALJANI
Površina poprečnog presjeka:	$A=28,48 \text{ cm}^2$
Prostorna težina:	$G=22,4 \text{ kg/m}$
Moment tromosti:	$I_z=142,4 \text{ cm}^4$ $I_y=1943 \text{ cm}^4$
Plastični moment otpora:	$W_{pl,y}=220,6 \text{ cm}^3$ $W_{pl,z}=142,4 \text{ cm}^3$
Konstanta krivljenja:	$I_w=12,99 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$
Torzijska konstanta:	$I_t=6,98 \text{ cm}^4$
Visina presjeka:	$h=200 \text{ mm}$
Širina pojasnice:	$b=100 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f=8,5 \text{ mm}$
Radius:	$r=12 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w=5,6 \text{ mm}$
Radius tromosti:	$i_y=8,26 \text{ cm}$ $i_z=2,24 \text{ cm}$

Osnovni materijal:

S 355 ;  $t \leq 40 \text{ mm}$

Granica popuštanja:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Modul elastičnosti:  $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

Parcijalni koeficijenti:

$$\gamma_{M0} = 1.00$$

$$\gamma_{M1} = 1.00$$

Razredba poprečnog presjeka:

Hrbat:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 8,5 - 2 \cdot 12}{5,6} = 28,39$$

$$28,39 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

*Hrbat je svrstan u klasu 1.*

Pojasnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{100 - 5,6 - 2 \cdot 12}{2}}{8,5} = 4,14$$

$$4,14 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

Otpornost poprečnog presjeka:

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{76,84 \cdot 30,885}{1,0} = 2373,20 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{96,11}{2373,20} = 0,04 \leq 1,0$$



Poprečni presjek zadovoljava na tlak, uz iskoristivost 4%.

Otpornost poprečnog presjeka izloženog savijanju oko osi y-y:

$$M_{c,Rd,y-y} = M_{pl,Rd,y-y} = \frac{W_{pl,y-y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{220,6 \cdot 35,5}{1,0} = 7831,3 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 7831,3 \text{ kNcm} = 78,31 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y-y}} \leq 1,0$$

$$\frac{27,77}{78,31} = 0,355 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 35,5%.

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 200 - 2 \cdot 8,5 = 183 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{183}{5,6} = 32,68 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 28,48 - 2 \cdot 10,0 \cdot 0,85 + (0,56 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,85 = 14,00 \text{ cm}^2$$

$$14 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 18,3 \cdot 0,62 = 16,40 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{16,4 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 336,13 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{22,28}{336,13} = 0,07 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 7%.

Savijanje oko osi z-z

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{44,61 \cdot 35,5}{1,0} = 1583,66 \text{ kNcm} = 15,84 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{4,17}{15,84} = 0,26 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 26%.

Utjecaj poprečne sile u smjeru y

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,y}$ :

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

$$A_{v,y} = 28,48 - 18,3 \cdot 0,56 = 18,23 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{18,23 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 373,64 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,35}{373,64} = 0,0090 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 0,9%.

Otpornost elementa:

Izvijanje:

Duljine izvijanja:

$$L_{i,y} = 7,143 \text{ m}$$

$$L_{i,z} = 3,571 \text{ m}$$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1943}{714,3^2} = 789,28 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142,4}{357,1^2} = 231,45 \text{ kN}$$

Bezdimenzionalna vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{714,3}{8,26} \cdot \frac{1}{76,41} = 1,13$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{357,1}{2,24} \cdot \frac{1}{76,41} = 1,87$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{21000}{35,5}} = 76,41$$

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

$$t_f \leq 40 \text{ mm}$$

→ krivulja izvijanja a oko osi y-y →  $\alpha = 0,21$

→ krivulja izvijanja b oko osi z-z →  $\alpha = 0,34$

Faktor redukcije:

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

$$\phi_y = 1,24$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,87 - 0,2) + 1,87^2]$$

$$\phi_z = 2,51$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,24 + \sqrt{1,24^2 - 1,13^2}} = 0,57 < 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,51 + \sqrt{2,51^2 - 1,87^2}} = 0,25 < 1$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,25 \cdot \frac{28,48 \cdot 35,5}{1,0} = 252,76 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{96,11}{252,76} = 0,38 \leq 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost presjeka od 38%.

Otpornost na dvoosno savijanje

Interakcija savijanja oko osi y-y i poprečne sile u smjeru z-z

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$22,28 \text{ kN} < 0,5 \cdot 392,50 = 196,25 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

Interakcija savijanja oko osi z-z i poprečne sile u smjeru y-y

Nema smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na savijanje ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

$$V_{y,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$3,35 \text{ kN} < 0,5 \cdot 336,13 = 168,07 \text{ kN}$$

Nema redukcije.

Otpornost presjeka na dvoosno savijanje

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

$$\alpha_y = 2$$

$$\alpha_z = 5 \cdot n = 5 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,2, \text{ ali } \alpha_z \geq 1,0 \text{ (NAPOMENA: u starim normama } \alpha=2, \beta=5n)$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} \text{ ali } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \text{ za } n \leq a$$

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,04$$

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \text{ ali } a \leq 0,5$$

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A = (28,48 - 2 \cdot 10 \cdot 0,85)/28,48 = 0,40$$

$$n = 0,355 \leq a = 0,40$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} = 78,31 \cdot \frac{1-0,04}{1-0,5 \cdot 0,4} = 93,972 \text{ kNm} \geq M_{pl,y,Rd} = 78,31 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 78,31 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{27,77}{78,31}\right)^2 + \left(\frac{4,17}{15,84}\right)^1 = 0,39 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 39%.

Otpornost elementa na bočno torzijsko savijanje

U svrhu smanjenja duljine bočnog torzijskog izvijanja podrožnice predviđene su zatezaljke u polovicama raspona podrožnice. Promotrit će se slučaj sa zatezaljkama.

Određivanje faktora C1 i C2

Faktori se određuju iz dva parametra:

$-1 \leq \psi \leq 1$  - ovisi o omjeru momenata na krajevima

$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M}$$

Promotrit ćemo 2 slučaja opasnosti od gubitka stabilnosti elementa izvijanjem izvan ravnine uslijed savijanja u ravnini. Za prvi raspon podrožnice gdje se pojavljuju najveće vrijednosti unutarnjih sila i momenata imamo slijedeće slučajeve:

prva polovica raspona – prisutan je manji moment, ali i manja otpornost

druga polovica raspona – veći moment, ali i veća otpornost

Između ova 2 slučaja odabrat će se mjerodavni, koji rezultira manjom otpornošću elementa.

Bezdimenzionalna vitkost

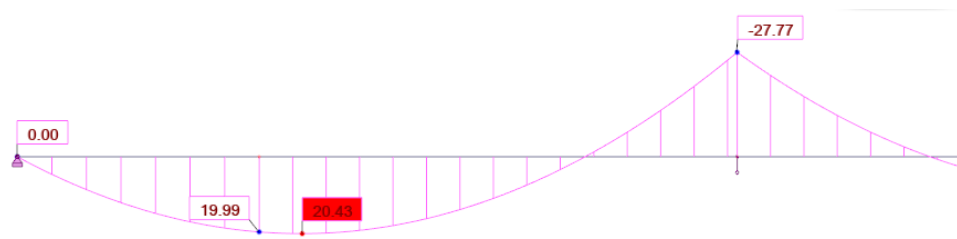
Prema normi [14] nije potrebno provjeravati bočno-torzijsku otpornost na izvijanje ukoliko je zadovoljen sljedeći uvjet:

$$\overline{\lambda}_{LT} \leq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{220,6 \cdot 35,5}{4587,81}} = 1,31 \geq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Potrebna provjera izbočavanja na bočno-torzijsko izvijanje budući da je uvjet zadovoljen.

## 1. Prva polovica raspona (0 – 3,57 m)



Slika 69.: Moment savijanja oko osi y u prvom polju

$$\psi = \frac{0}{18,75} = 0$$

$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M} = \frac{4,74 \cdot 3,57^2}{8 \cdot (18,75)} = 0,40$$

Očitano:  $C_1 = 1,19$

$$C_2 = 0,175$$

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja

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

**(NAPOMENA: dani izraz nije prikazan u normama pa će se koristiti izraz iz tehničkog dodatka)**

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 357 \text{ cm}$$

$$I_t = 6,98 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 12999 \text{ cm}^6$$

$$I_z = 142,4 \text{ cm}^4$$

$$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$z_g = h/2 = 20,0/2 = 10,0 \text{ cm}$$



$$M_{cr} = 1,19 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142,4}{357^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{12999}{142,4} + \frac{357^2 \cdot 8100 \cdot 6,98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142,4}} + (0,175 \cdot 10,0)^2 - 0,175 \cdot 10,0 \right]$$

$$M_{cr} = 4587,81 \text{ kNcm} = 45,88 \text{ kNm}$$

Faktor redukcije

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2,00 \leq 2 \rightarrow \text{mjerodavna krivulja izvijanja } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,32$$

$$t_f \leq 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_{LT} = 0,12 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}} = 0,12 \sqrt{\frac{194,3}{28,47}} = 0,32 ; \alpha_{LT} \leq 0,34$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + f_M \left( \left( \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \cdot \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,32 \cdot (1,31 - 0,2) + 1,31^2] = 1,54$$

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

$$f_M = 1,25 + 0,5 \cdot \left( \frac{M_0}{M_h} \right)^2 - 0,275 \cdot \left( \frac{M_0}{M_h} \right)^4 \quad \text{za } 0 \leq \frac{M_0}{M_h} = \frac{11,25}{18,75} = 0,6 < 1,47$$

$$f_M = 1,25 + 0,5 \cdot \left( \frac{11,25}{18,75} \right)^2 - 0,275 \cdot \left( \frac{11,25}{18,75} \right)^4 = 1,19$$

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,54 + \sqrt{1,54^2 - 1,31^2}} = 0,56 < 1$$

Računska otpornost

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,56 \cdot \frac{220,6 \cdot 35,5}{1,0} = 4385,53 \text{ kNcm} = 43,86 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{18,75}{43,86} = 0,43 < 1,0$$

Za slučaj 1 podrožnica IPE 200 zadovoljava s iskoristivošću 43%.

**Druga polovica raspona (3,57 – 7,143 m)**

$$\psi = \frac{18,75}{-27,77} = -0,68$$

$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M} = \frac{4,74 \cdot 3,57^2}{8 \cdot (-27,77)} = -0,27$$

Očitano:  $C_1 = 2,97$

$C_2 = 0,28$

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja

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

**(NAPOMENA: dani izraz nije prikazan u normama pa će se koristiti izraz iz tehničkog dodatka)**

$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

$L = 357 \text{ cm}$

$$I_t = 6,98 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 12999 \text{ cm}^6$$

$$I_z = 142,4 \text{ cm}^4$$

$$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$z_g = h/2 = 20,0/2 = 10,0 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = 2,97 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142,4}{357^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{12999}{142,4} + \frac{357^2 \cdot 8100 \cdot 6,98}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142,4}} + (0,28 \cdot 10,0)^2 - 0,28 \cdot 10,0 \right]$$

$$M_{cr} = 10817,08 \text{ kNcm} = 108,17 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{220,6 \cdot 35,5}{10817,08}} = 0,851 \geq 0,4$$

Faktor redukcije

$$\frac{h}{b} = \frac{200}{100} = 2,00 \leq 2 \rightarrow \text{mjerodavna krivulja izvijanja } \mathbf{a} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,32$$

$$\alpha_{LT} = 0,12 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}} = 0,12 \sqrt{\frac{277,7}{40,02}} = 0,32 ; \alpha_{LT} \leq 0,34$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + f_M \left( \left( \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \cdot \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,32 \cdot (0,851 - 0,2) + 0,851^2] = 0,97$$

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

$$f_M = 1,25 + 0,5 \cdot \left(\frac{M_0}{M_h}\right)^2 - 0,275 \cdot \left(\frac{M_0}{M_h}\right)^4 \text{ za } 0 \leq \frac{M_0}{M_h} = \frac{-4,51}{-27,77} = 0,16 < 1,47$$

$$f_M = 1,25 + 0,5 \cdot \left(\frac{-4,51}{-27,77}\right)^2 - 0,275 \cdot \left(\frac{-4,51}{-27,77}\right)^4 = 1,26$$

$$k_c = 0,75 \text{ za } \frac{M_0}{M_h} = \frac{-4,51}{-27,77} = 0,16 < 0,5$$

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,97 + \sqrt{0,97^2 - 0,851^2}} = 0,70 < 1$$

Računska otpornost

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,70 \cdot \frac{220,6 \cdot 35,5}{1,0} = 5481,91 \text{ kNcm} = 54,82 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{27,77}{54,82} = 0,51 < 1,0$$

Za slučaj 2 podrožnica IPE 200 zadovoljava s iskoristivošću 51%.

Interakcija M-N dvoosno savijanje

**(NAPOMENA: U starim normama je predviđena uporaba dvije metode za određivanje interakcijskih faktora, Metoda 1 i Metoda 2. U novoj normi nema takve podjele. Za provjeru interakcije postoji alternativna metoda dana u tehničkoj specifikaciji [22], ali će se koristiti izrazi dani u novoj normi [14].)**

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

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

Određivanje interakcijskih faktora  $k_{ij}$

Za klasu 1:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot n_y)$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama**

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

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

$$L_{cr,z} = L = 375 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 220,6}{357^2} = 358,75 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142,4}{714^2} = 57,89 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{28,48 \cdot 35,5}{358,75}} = 1,98$$

Za  $\bar{\lambda}_y = 1,98 > 1$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{28,48 \cdot 35,5}{57,89}} = 4,18$$

Za  $\bar{\lambda}_z = 4,18 > 1$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot n_z}{(C_{mLT} - 0,25)}$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}}{(C_{mLT} - 0,25)} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}}{(C_{mLT} - 0,25)} \right)$ )**

Za I presjek:

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot (1 + 1,4 \cdot n_z)$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama**

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

1. Prva polovica raspona (0 – 3,57 m):

Određivanje  $C_{mi}$ :

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

$$\psi = 0,00$$

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

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

$$C_{mLT} = 0,90 + 0,10 \cdot 0 = 1,00$$

Interakcijski faktori  $k_{ij}$ :

$$k_{yy} = 0,95 \cdot 1,0 = 0,95$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot 1,0 = 0,95$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,00 = 0,6$$

$$k_{zy} = 1,0$$

Interakcijske formule:

$$0,57 \cdot \frac{96,11}{252,76} + 0,95 \cdot \frac{27,77}{78,31} + 0,60 \cdot \frac{4,17}{15,84/1,0} \leq 1,0$$

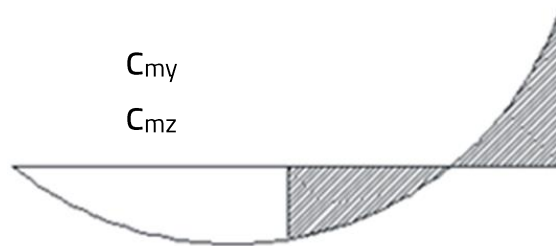
$$0,217 + 0,337 + 0,158 = 0,712 \leq 1,0$$

$$0,25 \cdot \frac{96,11}{252,76} + 1,0 \cdot \frac{27,77}{78,31} + 0,95 \cdot \frac{4,17}{15,84/1,0} \leq 1,0$$

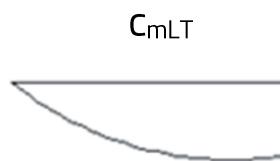
$$0,095 + 0,355 + 0,25 = 0,7 \leq 1,0$$

Za slučaj interakcije podrožnica IPE 200 zadovoljava s iskoristivošću 71,2%.

2. Druga polovica raspona (3,57 – 7,143 m):



Slika 70.: Shema za  $C_{my}$  i  $C_{mz}$



Slika 71.: Shema za  $C_{mLT}$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{18,75}{-27,77} = -0,68$$

$$\psi = \frac{18,75}{-27,77} = -0,68$$

$$C_{my} = 0,1(1-\psi) - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

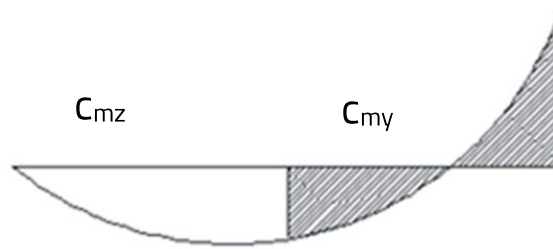
$$C_{my} = 0,58 > 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,58$$

$$C_{mz} = 0,1(1-\psi) - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,58 > 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,58$$

$$C_{mLT} = 0,2(-\psi) - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,41 > 0,4 \rightarrow C_{mLT} = 0,41$$

Slika 72.: Shema za  $c_{my}$  i  $c_{mz}$ Slika 73.: Shema za  $c_{mLT}$ 

Interakcijski faktori  $k_{ij}$ :

$$k_{yy} = 0,65 \cdot 1,0 = 0,65$$

$$k_{zz} = 0,68 \cdot 1,0 = 0,68$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,65 = 0,39$$

$$k_{zy} = 1,0$$

Interakcijske formule:

$$0,57 \cdot \frac{96,11}{252,76} + 0,65 \cdot \frac{27,77}{78,31} + 0,39 \cdot \frac{4,17}{15,84/1,0} \leq 1,0$$

$$0,217 + 0,231 + 0,103 = 0,551 \leq 1,0$$

$$0,25 \cdot \frac{96,11}{252,76} + 1,0 \cdot \frac{27,77}{78,31} + 0,68 \cdot \frac{4,17}{26,242/1,0} \leq 1,0$$

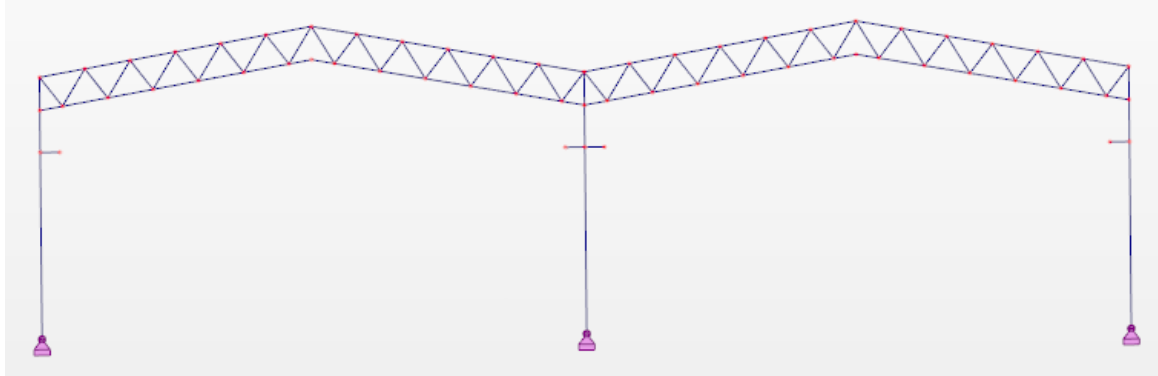
$$0,095 + 0,355 + 0,108 = 0,558 \leq 1,0$$

Za slučaj interakcije podrožnica IPE 200 zadovoljava s iskoristivošću 55,8%



## 7 DIMENZIONIRANJE OKVIRA

### 7.1 Statički sustav



Slika 74. Statički sustav okvira

### 7.2 Analiza opterećenja

#### Stalno djelovanje

Unutarnji čvorovi:

- Pokrov:  $= 0,102 \cdot 2,115 \cdot 7,143 = 1,54 \text{ kN}$
- Podrožnica IPE 200  $= 22,4 \cdot (9,81/1000) \cdot 7,143 = 1,57 \text{ kN}$
- $G_k = 3,11 \text{ kN}$

Krajnji čvor:

- Od krovne konstrukcije:  $= 0,5 \cdot 3,67 = 1,84 \text{ kN}$
- Vertikalna obloga:  $= 0,2 \cdot 0,5 \cdot 7,143 \cdot 12,0 = 8,57 \text{ kN}$
- $G_k = 10,95 \text{ kN}$

#### Opterećenje od kranske staze

Program uzima u obzir vlastitu težinu konzole i ostalih elemenata okvira.

Površina poprečnog presjeka nosača kranske staze i šine:

$$A = 178 + 5 \cdot 2,5 = 190,5 \text{ cm}^2 = 0,01905 \text{ m}^2$$

Raspon nosača kranske staze:

$$L = 7,143 \text{ m}$$

Vlastita težina kranske staze:

$$g_{Ed} = 1,35 \cdot 0,01905 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1980,47 \text{ N/m} = 1,98 \text{ kN/m}$$

Koncentrirano opterećenje nosača kranske staze i šine na konzolni nosač:

$$G_{Ed} = 1,98 \cdot 7,143 = 14,14 \text{ kN}$$

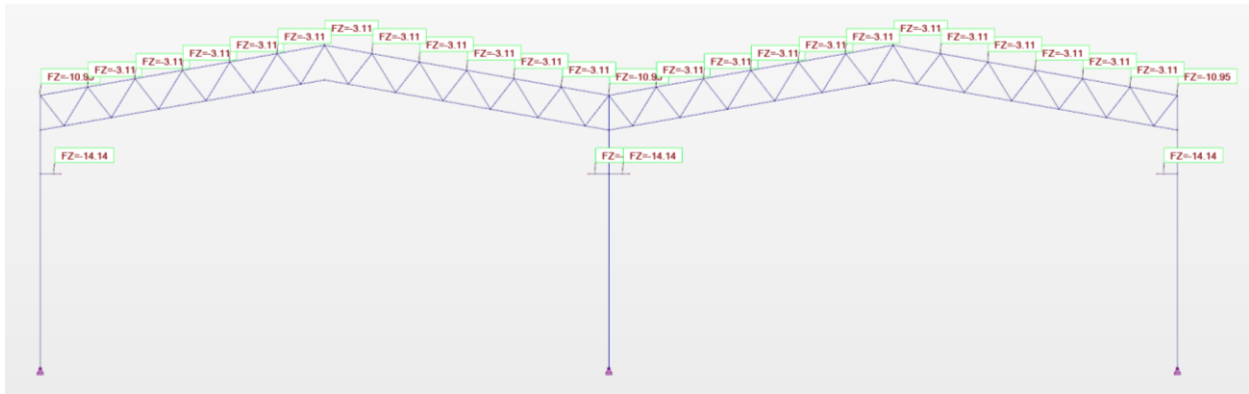
Opterećenje kranom:

maksimalna reakcija na ležaju od nosača kranske staze

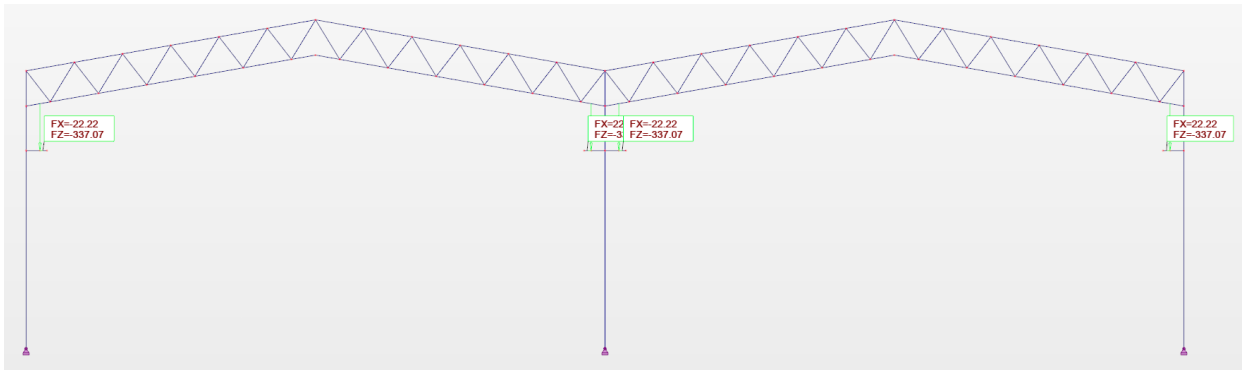
$$R_{V,Ed} = 1,35 \cdot 249,68 = 337,07 \text{ kN}$$

uzdužna sila

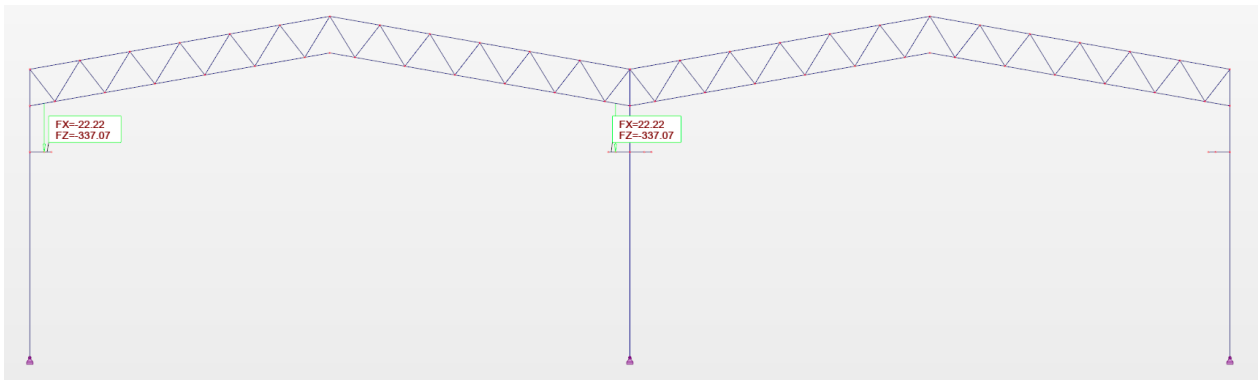
$$R_{H,Ed} = 1,35 \cdot 16,46 = 22,22 \text{ kN}$$



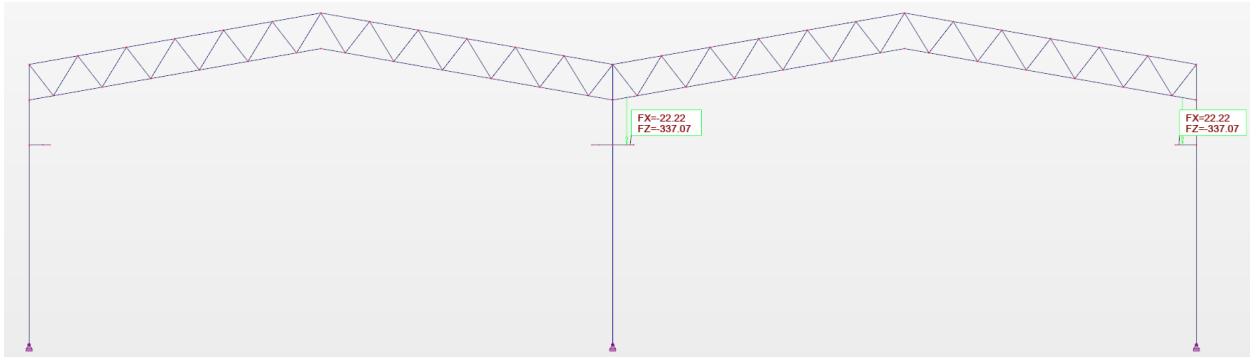
Slika 75.: Stalno opterećenje



Slika 76.: Opterećenje kranom simetrično



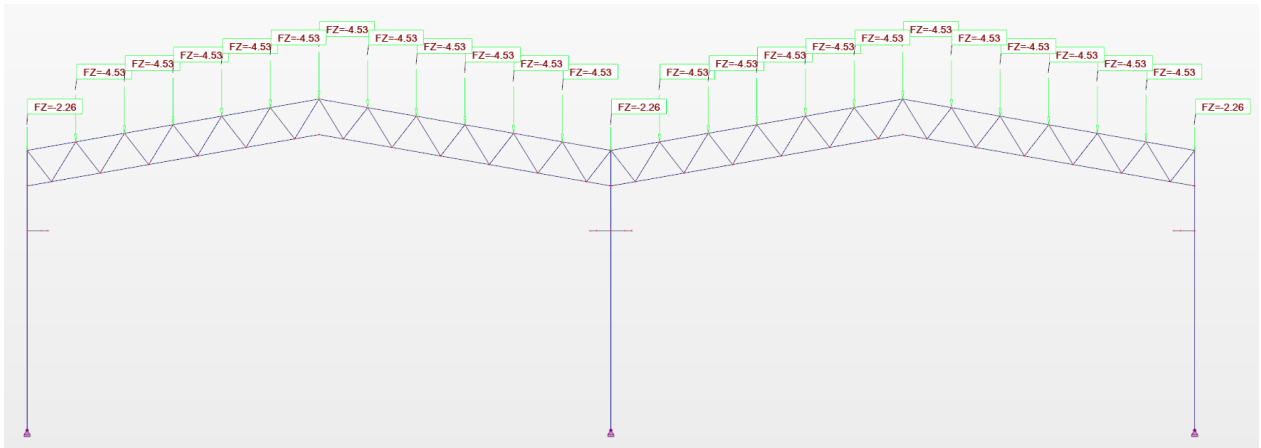
Slika 77.: Opterećenje kranom nesimetrično 1



Slika 78.: Opterećenje kranom nesimetrično 2

### Instalacije na krovu

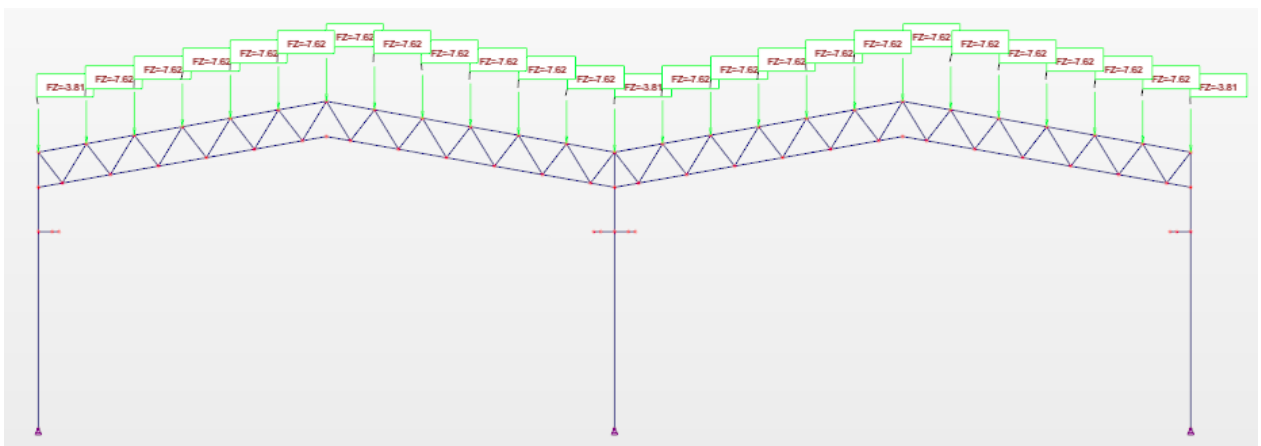
- Unutarnji čvorovi:  $= 0,3 \cdot 2,115 \cdot 7,143 = 4,53 \text{ kN}$
- Krajnji čvorovi:  $= 0,5 \cdot 4,53 = 2,26 \text{ kN}$



Slika 79.: Opterećenje od instalacija

### Opterećenje snijegom

- Unutarnji čvorovi:  $= 1,13 \cdot 7,143 = 8,07 \text{ kN}$
- Krajnji čvorovi:  $= 0,5 \cdot 8,07 = 4,04 \text{ kN}$



Slika 80.: Opterećenje od snijega

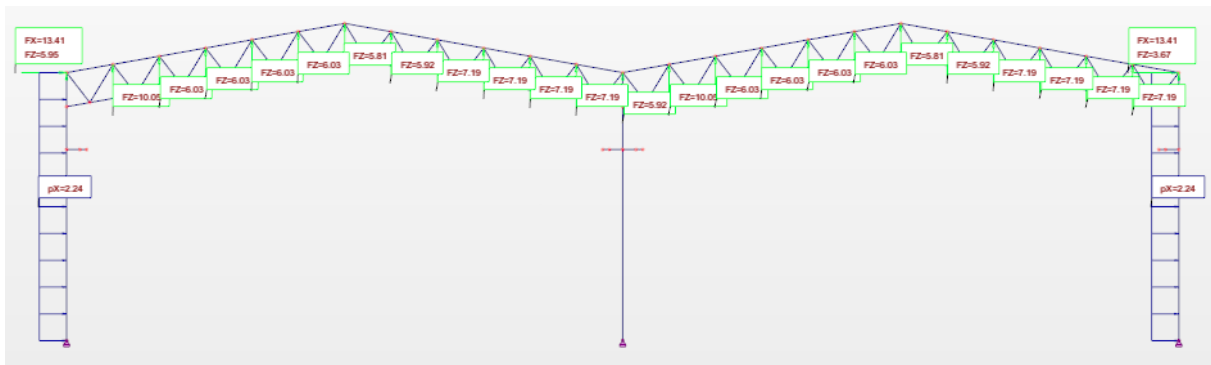
### Opterećenje vjetrom

Slučaj 1 (vjetar puše na uzdužnu stranu objekta  $c_{pi}=+0,2$ )

Čvor	Formula	Vrijednosti [kN]
$W_{42}^H$	$0,313 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 7,143$	13,41
$W_{42}^V$	$-0,938 \cdot 2,48 - 0,75 \cdot 4,83$	-5,95

$W_{64,76}$	$-0,938 \cdot 3,35 - 0,75 \cdot 6,5 - 0,406 \cdot 5,0$	-10,05
$W_{65-68,78-84}$	$-0,406 \cdot 14,86$	-6,03
$W_{48,50}$	$-0,406 \cdot 7,29 - 0,375 \cdot 7,6$	-5,81
$W_{96,108}$	$-0,375 \cdot 9,54 - 0,438 \cdot 5,34$	-5,92
$W_{94-98,100-106}$	$-0,438 \cdot 14,88$	-7,19
$W_{44}$	$-0,438 \cdot 7,59 - 0,938 \cdot 2,48 - 0,75 \cdot 4,8$	-9,25
$W_{98}^V$	$-0,438 \cdot 7,59$	-3,67
$W_{98}^V$	$-0,438 \cdot 7,59$	-3,67

Element		Vrijednosti [kN/m]
1	$0,313 \cdot 7,143$	2,24
2	$-0,313 \cdot 7,143$	-2,24



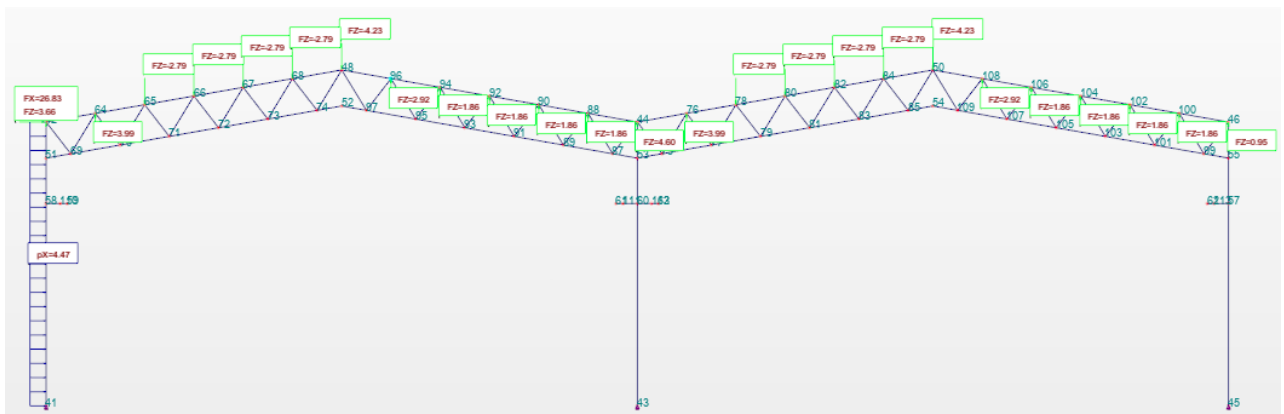
Slika 81.: Vjetar slučaj 1

Slučaj 2 (vjetar puše na uzdužnu stranu objekta  $c_{pi}=-0,3$ )

Čvor	Formula	Vrijednosti [kN]
$W_{42}^H$	$0,626 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 7,143$	26,83
$W_{42}^V$	$-0,625 \cdot 2,48 - 0,437 \cdot 4,83$	-3,66
$W_{64,76}$	$-0,625 \cdot 3,35 - 0,437 \cdot 6,5 + 0,188 \cdot 5,0$	-3,99

$W_{65-68,78-84}$	$+0,188 \cdot 14,86$	$+2,79$
$W_{48,50}$	$+0,188 \cdot 7,29 + 0,376 \cdot 7,6$	$+4,23$
$W_{96,108}$	$+0,376 \cdot 9,54 - 0,125 \cdot 5,34$	$-2,92$
$W_{94-98,100-106}$	$-0,125 \cdot 14,88$	$-1,86$
$W_{44}$	$-0,125 \cdot 7,59 - 0,625 \cdot 2,48 - 0,437 \cdot 4,8$	$-4,60$
$W_{98}^V$	$-0,125 \cdot 7,59$	$-0,95$
$W_{98}^H$	$-0,000 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 7,143$	$-0,00$

Element		Vrijednosti [kN/m]
1	$0,626 \cdot 7,143$	4,47
2	$-0,000 \cdot 7,143$	-0,00

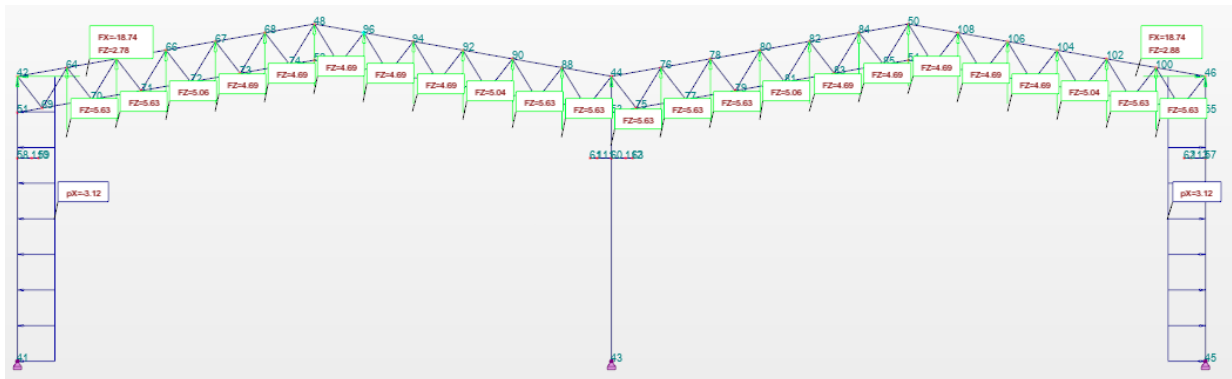


Slika 82.: Vjetar slučaj 2

Slučaj 3 (vjetar puše na poprečnu stranu objekta  $c_{pi}=+0,2$ )

Čvor	Formula	Vrijednosti [kN]
$W_{42}^H$	$-0,875 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 3,571$	$-18,74$
$W_{42}^V$	$-0,938 \cdot 2,45 - 0,406 \cdot 1,19$	$-2,78$
$W_{64-65,90-78,44,100-102}$	$-0,406 \cdot 2,32 - 0,938 \cdot 5,0$	$-5,63$
$W_{66,80}$	$-0,938 \cdot 1,95 - 3,05 \cdot 0,75 - 2,32 \cdot 0,406$	$-5,06$
$W_{50-108}$	$-0,75 \cdot 5,0 + 0,406 \cdot 2,32$	$-4,69$
$W_{92,104}$	$-0,75 \cdot 3,15 - 0,938 \cdot 1,85 - 0,406 \cdot 2,32$	$-5,04$

$W_{46}^V$	$-0,938 \cdot 2,55 - 0,406 \cdot 1,19$	-2,88
$W_{46}^H$	$-0,875 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 3,571$	-18,74
Element		Vrijednosti [kN/m]
1	$-0,875 \cdot 3,571$	-3,12
2	$-0,875 \cdot 3,571$	-3,12



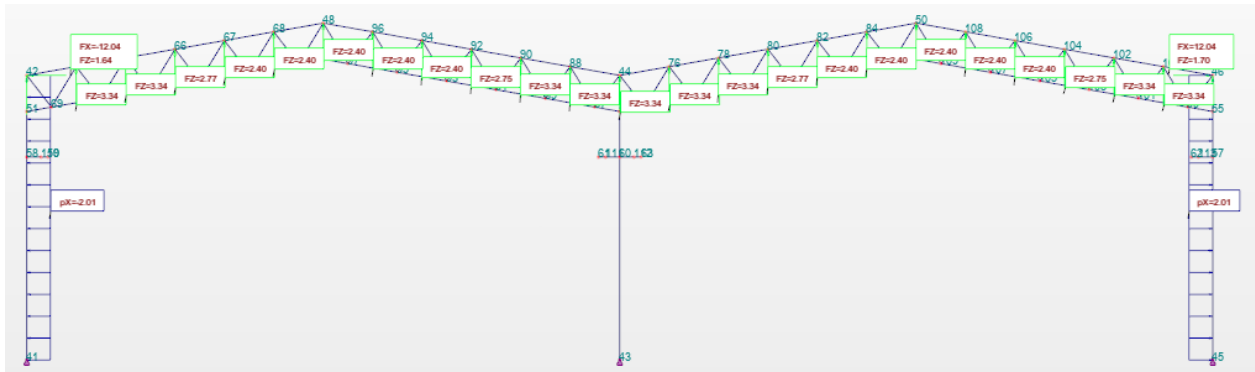
Slika 83.: Vjetar slučaj 3

Slučaj 4 (vjetar puše na poprečnu stranu objekta  $c_{pi} = -0,3$ )

Čvor	Formula	Vrijednosti [kN]
$W_{42}^H$	$-0,562 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 3,571$	-12,04
$W_{42}^V$	$-0,625 \cdot 2,45 - 0,093 \cdot 1,19$	-1,64
$W_{64-65,90-78,44,100-102}$	$-0,093 \cdot 2,32 - 0,625 \cdot 5,0$	-3,34
$W_{66,80}$	$-0,625 \cdot 1,95 - 3,05 \cdot 0,437 - 2,32 \cdot 0,093$	-2,77
$W_{50-108}$	$-0,437 \cdot 5,0 - 0,093 \cdot 2,32$	-2,40
$W_{92,104}$	$-0,437 \cdot 3,15 - 0,625 \cdot 1,85 - 0,093 \cdot 2,32$	-2,75
$W_{46}^V$	$-0,625 \cdot 2,55 - 0,093 \cdot 1,19$	-1,70
$W_{46}^H$	$-0,562 \cdot (0,5 \cdot 12) \cdot 3,571$	-12,04
		Vrijednosti [kN/m]

Element

1	$-0,562 \cdot 3,571$	-2,01
2	$-0,562 \cdot 3,571$	-2,01



Slika 84.: Vjetar slučaj 4

### 7.3 Imperfekcije okvira

$$\emptyset = \emptyset_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

U gornjem izrazu:

$$\emptyset_0 = 1/200$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ ali } \alpha_h \leq 1,0 \rightarrow h = 12,0 \text{ m (NAPOMENA: prema starim normama } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot (1 + 1/m)} \rightarrow m = 3$$

$$\emptyset = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{\sqrt{12}} \cdot \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 0,00236$$



ekvivalentna horizontalna sila od stalnog opterećenja:

$$\Delta H_1 = \emptyset \cdot V_1 = 0,00236 \cdot 235,17 = 0,56 \text{ kN}$$

ekvivalentna horizontalna sila od instalacija:

$$\Delta H_2 = \emptyset \cdot V_2 = 0,00236 \cdot 104,81 = 0,25 \text{ kN}$$

ekvivalentna horizontalna sila od snijega:

$$\Delta H_3 = \emptyset \cdot V_3 = 0,00236 \cdot 194,31 = 0,46 \text{ kN}$$

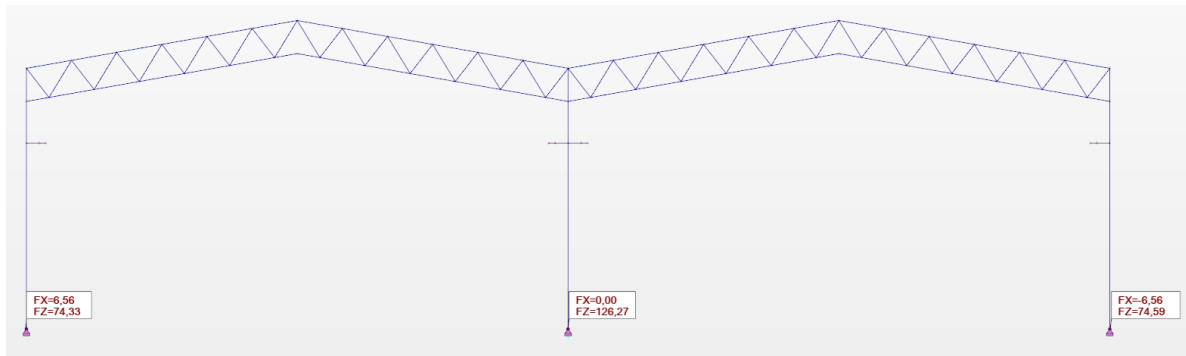
ekvivalentna horizontalna sila od kрана simetrično:

$$\Delta H_4 = \emptyset \cdot V_4 = 0,00236 \cdot 1670,24 = 3,94 \text{ kN}$$

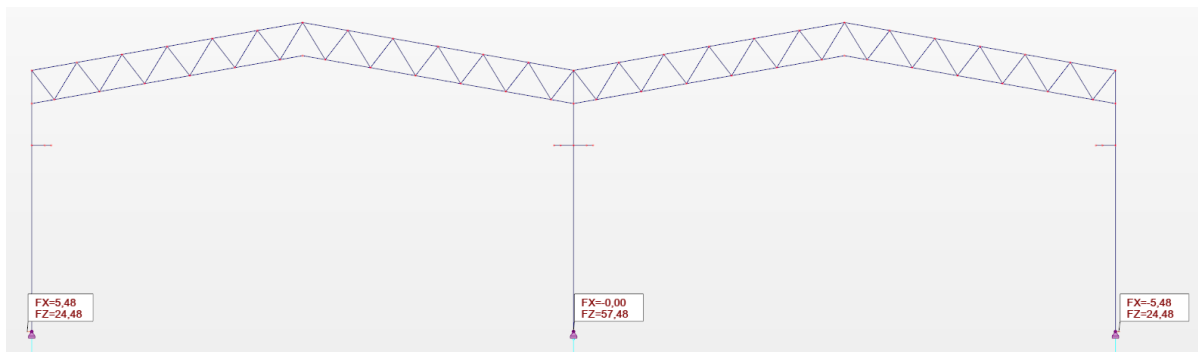
ekvivalentna horizontalna sila od snijega:

$$\Delta H_5 = \emptyset \cdot V_5 = 0,00236 \cdot 835,12 = 1,97 \text{ kN}$$

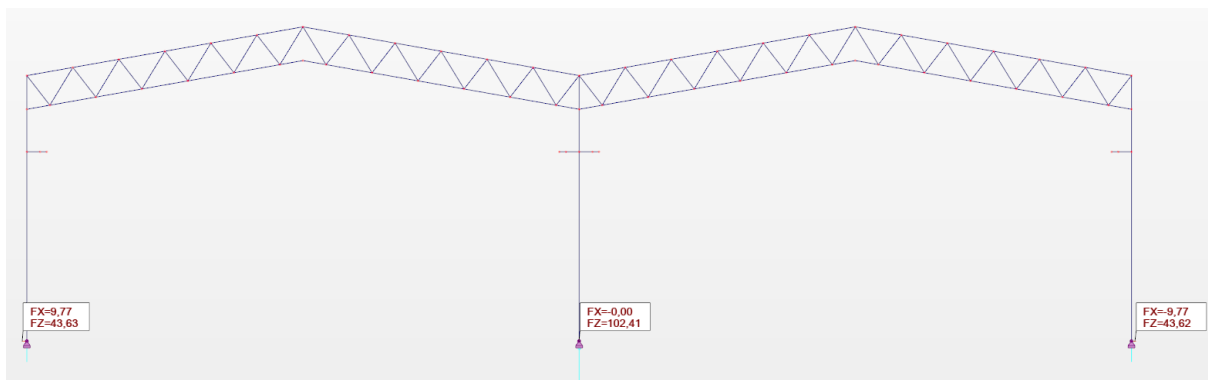
## 7.4 Reakcije na ležajevima



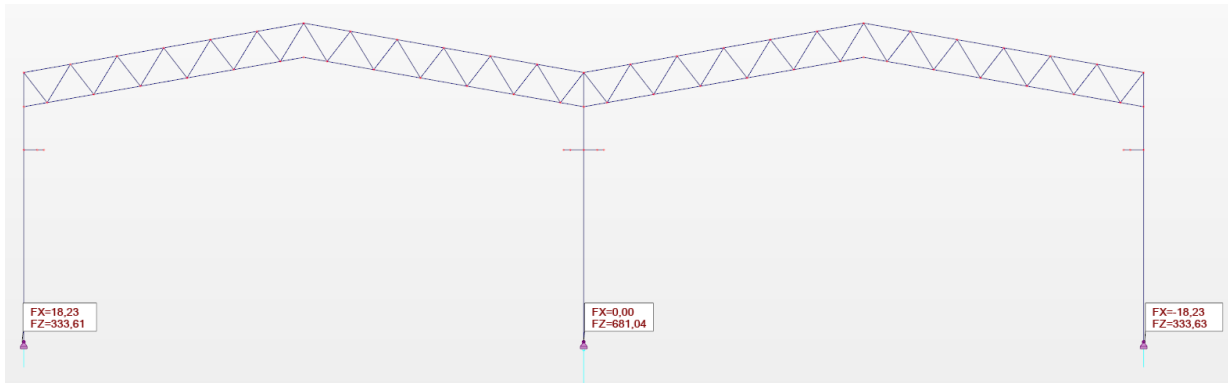
Slika 85.: Reakcije od stalnog opterećenja



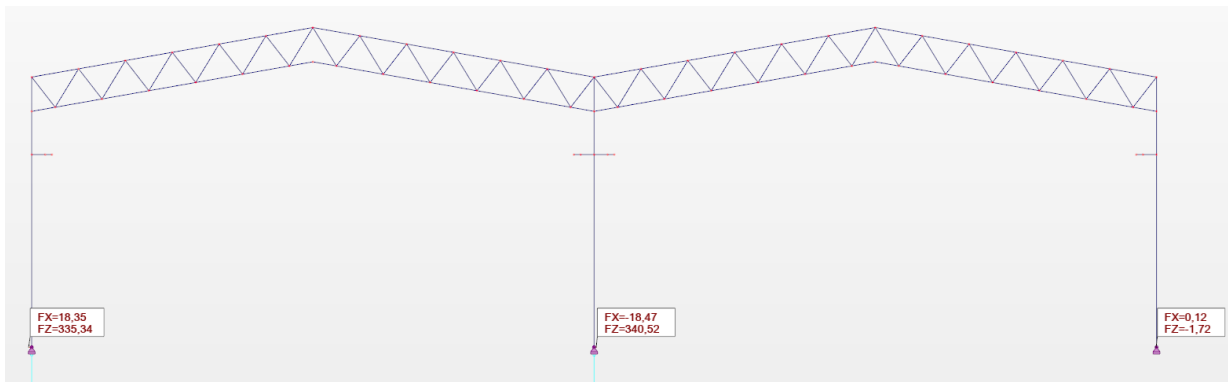
Slika 86.: Reakcije od instalacija



Slika 87.: Reakcije od snijega



Slika 88.: Reakcije od kрана simetrično



Slika 89.: Reakcije od kрана nesimetrično

## 7.5 Kombinacije djelovanja

Tablica 8.: Slučajevi opterećenja

Case	Case name	Nature	Analysis type
1	Stalno djelovanje	Structural	Static - Linear
2	Snijeg	Snow H<1000 m above sea level	Static - Linear
11	Instalacije	Structural	Static - Linear
12	Opterećenje kranom simetrično	Structural	Static - Linear
13	Opterećenje kranom nesimetrično 1	Structural	Static - Linear
14	Opterećenje kranom nesimetrično 2	Structural	Static - Linear
15	Vjetar uzdužna strana Cpi=+0,2	wind	Static - Linear
16	Vjetar uzdužna strana Cpi=-0,3	wind	Static - Linear
17	Vjetar poprečna strana Cpi=+0,2	wind	Static - Linear
18	Vjetar poprečna strana Cpi=-0,3	wind	Static - Linear

Tablica 9.: Kombinacije djelovanja

Combinations	Name	Analysis type	Combi nation	Case nature	Definition
84 (C)	ULS/1=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35$
85 (C)	ULS/2=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+15*1.50+2*0.75$
86 (C)	ULS/3=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+15*1.50$
87 (C)	ULS/4=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+16*1.50+2*0.75$
88 (C)	ULS/5=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+16*1.50$
89 (C)	ULS/6=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+17*1.50+2*0.75$
90 (C)	ULS/7=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+17*1.50$
91 (C)	ULS/8=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+18*1.50+2*0.75$
92 (C)	ULS/9=11*1.35	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.35+18*1.50$
93 (C)	ULS/10=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00$
94 (C)	ULS/11=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+15*1.50+2*0.75$
95 (C)	ULS/12=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+15*1.50$
96 (C)	ULS/13=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+16*1.50+2*0.75$
97 (C)	ULS/14=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+16*1.50$
98 (C)	ULS/15=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+17*1.50+2*0.75$
99 (C)	ULS/16=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+17*1.50$
100 (C)	ULS/17=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+18*1.50+2*0.75$
101 (C)	ULS/18=11*1.35	Linear Combinati		dead	$11*1.35+1*1.00+18*1.50$
102 (C)	ULS/19=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35$
103 (C)	ULS/20=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+15*1.50+2*0.75$
104 (C)	ULS/21=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+15*1.50$
105 (C)	ULS/22=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+16*1.50+2*0.75$
106 (C)	ULS/23=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+16*1.50$
107 (C)	ULS/24=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+17*1.50+2*0.75$
108 (C)	ULS/25=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+17*1.50$
109 (C)	ULS/26=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+18*1.50+2*0.75$
110 (C)	ULS/27=11*1.00	Linear Combinati		dead	$11*1.00+1*1.35+18*1.50$
111 (C)	ULS/28=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00$
112 (C)	ULS/29=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+15*1.50+2*0.75$
113 (C)	ULS/30=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+15*1.50$
114 (C)	ULS/31=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+16*1.50+2*0.75$
115 (C)	ULS/32=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+16*1.50$
116 (C)	ULS/33=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+17*1.50+2*0.75$
117 (C)	ULS/34=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+17*1.50$
118 (C)	ULS/35=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+18*1.50+2*0.75$
119 (C)	ULS/36=11*1.00	Linear Combinati		dead	$(11+1)*1.00+18*1.50$
120 (C)	ULS/37=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35$
121 (C)	ULS/38=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+15*1.50+2*0.75$
122 (C)	ULS/39=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+15*1.50$
123 (C)	ULS/40=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+16*1.50+2*0.75$
124 (C)	ULS/41=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+16*1.50$
125 (C)	ULS/42=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+17*1.50+2*0.75$
126 (C)	ULS/43=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+17*1.50$
127 (C)	ULS/44=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+18*1.50+2*0.75$
128 (C)	ULS/45=12*1.35	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.35+18*1.50$
129 (C)	ULS/46=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00$
130 (C)	ULS/47=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+15*1.50+2*0.75$
131 (C)	ULS/48=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+15*1.50$
132 (C)	ULS/49=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+16*1.50+2*0.75$
133 (C)	ULS/50=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+16*1.50$
134 (C)	ULS/51=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+17*1.50+2*0.75$
135 (C)	ULS/52=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+17*1.50$
136 (C)	ULS/53=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+18*1.50+2*0.75$
137 (C)	ULS/54=12*1.35	Linear Combinati		dead	$12*1.35+1*1.00+18*1.50$
138 (C)	ULS/55=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35$
139 (C)	ULS/56=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+15*1.50+2*0.75$
140 (C)	ULS/57=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+15*1.50$
141 (C)	ULS/58=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+16*1.50+2*0.75$
142 (C)	ULS/59=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+16*1.50$
143 (C)	ULS/60=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+17*1.50+2*0.75$
144 (C)	ULS/61=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+17*1.50$
145 (C)	ULS/62=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+18*1.50+2*0.75$
146 (C)	ULS/63=12*1.00	Linear Combinati		dead	$12*1.00+1*1.35+18*1.50$
147 (C)	ULS/64=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00$
148 (C)	ULS/65=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+15*1.50+2*0.75$
149 (C)	ULS/66=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+15*1.50$
150 (C)	ULS/67=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+16*1.50+2*0.75$
151 (C)	ULS/68=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+16*1.50$
152 (C)	ULS/69=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+17*1.50+2*0.75$
153 (C)	ULS/70=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+17*1.50$
154 (C)	ULS/71=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+18*1.50+2*0.75$
155 (C)	ULS/72=12*1.00	Linear Combinati		dead	$(12+1)*1.00+18*1.50$
156 (C)	ULS/73=13*1.35	Linear Combinati		dead	$(13+1)*1.35$
157 (C)	ULS/74=13*1.35	Linear Combinati		dead	$(13+1)*1.35+15*1.50+2*0.75$
158 (C)	ULS/75=13*1.35	Linear Combinati		dead	$(13+1)*1.35+15*1.50$

Tablica 10.: Kombinacije djelovanja

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
159 (C)	ULS/76=13*1.35	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+16*1.50+2*0.75
160 (C)	ULS/77=13*1.35	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+16*1.50
161 (C)	ULS/78=13*1.35	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+17*1.50+2*0.75
162 (C)	ULS/79=13*1.35	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+17*1.50
163 (C)	ULS/80=13*1.35	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+18*1.50+2*0.75
164 (C)	ULS/81=13*1.35	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+18*1.50
165 (C)	ULS/82=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00
166 (C)	ULS/83=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+15*1.50+2*0.75
167 (C)	ULS/84=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+15*1.50
168 (C)	ULS/85=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+16*1.50+2*0.75
169 (C)	ULS/86=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+16*1.50
170 (C)	ULS/87=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+17*1.50+2*0.75
171 (C)	ULS/88=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+17*1.50
172 (C)	ULS/89=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+18*1.50+2*0.75
173 (C)	ULS/90=13*1.35	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+18*1.50
174 (C)	ULS/91=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35
175 (C)	ULS/92=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+15*1.50+2*0.75
176 (C)	ULS/93=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+15*1.50
177 (C)	ULS/94=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+16*1.50+2*0.75
178 (C)	ULS/95=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+16*1.50
179 (C)	ULS/96=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+17*1.50+2*0.75
180 (C)	ULS/97=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+17*1.50
181 (C)	ULS/98=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+18*1.50+2*0.75
182 (C)	ULS/99=13*1.00	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+18*1.50
183 (C)	ULS/100=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00
184 (C)	ULS/101=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+15*1.50+2*0.75
185 (C)	ULS/102=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+15*1.50
186 (C)	ULS/103=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+16*1.50+2*0.75
187 (C)	ULS/104=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+16*1.50
188 (C)	ULS/105=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+17*1.50+2*0.75
189 (C)	ULS/106=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+17*1.50
190 (C)	ULS/107=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+18*1.50+2*0.75
191 (C)	ULS/108=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+18*1.50
192 (C)	ULS/109=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35
193 (C)	ULS/110=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+15*1.50+2*0.75
194 (C)	ULS/111=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+15*1.50
195 (C)	ULS/112=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+16*1.50+2*0.75
196 (C)	ULS/113=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+16*1.50
197 (C)	ULS/114=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+17*1.50+2*0.75
198 (C)	ULS/115=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+17*1.50
199 (C)	ULS/116=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+18*1.50+2*0.75
200 (C)	ULS/117=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+18*1.50
201 (C)	ULS/118=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00
202 (C)	ULS/119=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+15*1.50+2*0.75
203 (C)	ULS/120=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+15*1.50
204 (C)	ULS/121=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+16*1.50+2*0.75
205 (C)	ULS/122=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+16*1.50
206 (C)	ULS/123=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+17*1.50+2*0.75
207 (C)	ULS/124=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+17*1.50
208 (C)	ULS/125=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+18*1.50+2*0.75
209 (C)	ULS/126=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+18*1.50
210 (C)	ULS/127=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35
211 (C)	ULS/128=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+15*1.50+2*0.75
212 (C)	ULS/129=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+15*1.50
213 (C)	ULS/130=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+16*1.50+2*0.75
214 (C)	ULS/131=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+16*1.50
215 (C)	ULS/132=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+17*1.50+2*0.75
216 (C)	ULS/133=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+17*1.50
217 (C)	ULS/134=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+18*1.50+2*0.75
218 (C)	ULS/135=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+18*1.50
219 (C)	ULS/136=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00
220 (C)	ULS/137=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+15*1.50+2*0.75
221 (C)	ULS/138=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+15*1.50
222 (C)	ULS/139=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+16*1.50+2*0.75
223 (C)	ULS/140=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+16*1.50
224 (C)	ULS/141=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+17*1.50+2*0.75
225 (C)	ULS/142=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+17*1.50
226 (C)	ULS/143=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+18*1.50+2*0.75
227 (C)	ULS/144=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+18*1.50
228 (C)	ULS/145=11*1.3	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.35+2*1.50
229 (C)	ULS/146=11*1.3	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.35+15*0.75+2*1.50
230 (C)	ULS/147=11*1.3	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.35+16*0.75+2*1.50
231 (C)	ULS/148=11*1.3	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.35+17*0.75+2*1.50
232 (C)	ULS/149=11*1.3	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.35+18*0.75+2*1.50
233 (C)	ULS/150=11*1.3	Linear Combinati		dead	11*1.35+1*1.00+2*1.50

Tablica 11.: Kombinacije djelovanja

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
234 (C)	ULS/151=11*1.3	Linear Combinati		dead	11*1.35+1*1.00+15*0.75+2*1.50
235 (C)	ULS/152=11*1.3	Linear Combinati		dead	11*1.35+1*1.00+16*0.75+2*1.50
236 (C)	ULS/153=11*1.3	Linear Combinati		dead	11*1.35+1*1.00+17*0.75+2*1.50
237 (C)	ULS/154=11*1.3	Linear Combinati		dead	11*1.35+1*1.00+18*0.75+2*1.50
238 (C)	ULS/155=11*1.0	Linear Combinati		dead	11*1.00+1*1.35+2*1.50
239 (C)	ULS/156=11*1.0	Linear Combinati		dead	11*1.00+1*1.35+15*0.75+2*1.50
240 (C)	ULS/157=11*1.0	Linear Combinati		dead	11*1.00+1*1.35+16*0.75+2*1.50
241 (C)	ULS/158=11*1.0	Linear Combinati		dead	11*1.00+1*1.35+17*0.75+2*1.50
242 (C)	ULS/159=11*1.0	Linear Combinati		dead	11*1.00+1*1.35+18*0.75+2*1.50
243 (C)	ULS/160=11*1.0	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.00+2*1.50
244 (C)	ULS/161=11*1.0	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.00+15*0.75+2*1.50
245 (C)	ULS/162=11*1.0	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.00+16*0.75+2*1.50
246 (C)	ULS/163=11*1.0	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.00+17*0.75+2*1.50
247 (C)	ULS/164=11*1.0	Linear Combinati		dead	(11+1)*1.00+18*0.75+2*1.50
248 (C)	ULS/165=12*1.3	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.35+2*1.50
249 (C)	ULS/166=12*1.3	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.35+15*0.75+2*1.50
250 (C)	ULS/167=12*1.3	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.35+16*0.75+2*1.50
251 (C)	ULS/168=12*1.3	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.35+17*0.75+2*1.50
252 (C)	ULS/169=12*1.3	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.35+18*0.75+2*1.50
253 (C)	ULS/170=12*1.3	Linear Combinati		dead	12*1.35+1*1.00+2*1.50
254 (C)	ULS/171=12*1.3	Linear Combinati		dead	12*1.35+1*1.00+15*0.75+2*1.50
255 (C)	ULS/172=12*1.3	Linear Combinati		dead	12*1.35+1*1.00+16*0.75+2*1.50
256 (C)	ULS/173=12*1.3	Linear Combinati		dead	12*1.35+1*1.00+17*0.75+2*1.50
257 (C)	ULS/174=12*1.3	Linear Combinati		dead	12*1.35+1*1.00+18*0.75+2*1.50
258 (C)	ULS/175=12*1.0	Linear Combinati		dead	12*1.00+1*1.35+2*1.50
259 (C)	ULS/176=12*1.0	Linear Combinati		dead	12*1.00+1*1.35+15*0.75+2*1.50
260 (C)	ULS/177=12*1.0	Linear Combinati		dead	12*1.00+1*1.35+16*0.75+2*1.50
261 (C)	ULS/178=12*1.0	Linear Combinati		dead	12*1.00+1*1.35+17*0.75+2*1.50
262 (C)	ULS/179=12*1.0	Linear Combinati		dead	12*1.00+1*1.35+18*0.75+2*1.50
263 (C)	ULS/180=12*1.0	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.00+2*1.50
264 (C)	ULS/181=12*1.0	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.00+15*0.75+2*1.50
265 (C)	ULS/182=12*1.0	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.00+16*0.75+2*1.50
266 (C)	ULS/183=12*1.0	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.00+17*0.75+2*1.50
267 (C)	ULS/184=12*1.0	Linear Combinati		dead	(12+1)*1.00+18*0.75+2*1.50
268 (C)	ULS/185=13*1.3	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+2*1.50
269 (C)	ULS/186=13*1.3	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+15*0.75+2*1.50
270 (C)	ULS/187=13*1.3	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+16*0.75+2*1.50
271 (C)	ULS/188=13*1.3	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+17*0.75+2*1.50
272 (C)	ULS/189=13*1.3	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.35+18*0.75+2*1.50
273 (C)	ULS/190=13*1.3	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+2*1.50
274 (C)	ULS/191=13*1.3	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+15*0.75+2*1.50
275 (C)	ULS/192=13*1.3	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+16*0.75+2*1.50
276 (C)	ULS/193=13*1.3	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+17*0.75+2*1.50
277 (C)	ULS/194=13*1.3	Linear Combinati		dead	13*1.35+1*1.00+18*0.75+2*1.50
278 (C)	ULS/195=13*1.0	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+2*1.50
279 (C)	ULS/196=13*1.0	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+15*0.75+2*1.50
280 (C)	ULS/197=13*1.0	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+16*0.75+2*1.50
281 (C)	ULS/198=13*1.0	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+17*0.75+2*1.50
282 (C)	ULS/199=13*1.0	Linear Combinati		dead	13*1.00+1*1.35+18*0.75+2*1.50
283 (C)	ULS/200=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+2*1.50
284 (C)	ULS/201=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+15*0.75+2*1.50
285 (C)	ULS/202=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+16*0.75+2*1.50
286 (C)	ULS/203=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+17*0.75+2*1.50
287 (C)	ULS/204=13*1.0	Linear Combinati		dead	(13+1)*1.00+18*0.75+2*1.50
288 (C)	ULS/205=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+2*1.50
289 (C)	ULS/206=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+15*0.75+2*1.50
290 (C)	ULS/207=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+16*0.75+2*1.50
291 (C)	ULS/208=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+17*0.75+2*1.50
292 (C)	ULS/209=14*1.3	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.35+18*0.75+2*1.50
293 (C)	ULS/210=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+2*1.50
294 (C)	ULS/211=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+15*0.75+2*1.50
295 (C)	ULS/212=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+16*0.75+2*1.50
296 (C)	ULS/213=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+17*0.75+2*1.50
297 (C)	ULS/214=14*1.3	Linear Combinati		dead	14*1.35+1*1.00+18*0.75+2*1.50
298 (C)	ULS/215=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+2*1.50
299 (C)	ULS/216=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+15*0.75+2*1.50
300 (C)	ULS/217=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+16*0.75+2*1.50
301 (C)	ULS/218=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+17*0.75+2*1.50
302 (C)	ULS/219=14*1.0	Linear Combinati		dead	14*1.00+1*1.35+18*0.75+2*1.50
303 (C)	ULS/220=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+2*1.50
304 (C)	ULS/221=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+15*0.75+2*1.50
305 (C)	ULS/222=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+16*0.75+2*1.50
306 (C)	ULS/223=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+17*0.75+2*1.50
307 (C)	ULS/224=14*1.0	Linear Combinati		dead	(14+1)*1.00+18*0.75+2*1.50
308 (C)	SLS:CHR/1=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(11+1)*1.00

Tablica 12.: Kombinacije djelovanja

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
309 (C)	SLS:CHR/2=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+15)*1.00+2*0.50$
310 (C)	SLS:CHR/3=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+15)*1.00$
311 (C)	SLS:CHR/4=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+16)*1.00+2*0.50$
312 (C)	SLS:CHR/5=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+16)*1.00$
313 (C)	SLS:CHR/6=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+17)*1.00+2*0.50$
314 (C)	SLS:CHR/7=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+17)*1.00$
315 (C)	SLS:CHR/8=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+18)*1.00+2*0.50$
316 (C)	SLS:CHR/9=11*	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(11+1+18)*1.00$
317 (C)	SLS:CHR/10=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1)*1.00$
318 (C)	SLS:CHR/11=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+15)*1.00+2*0.50$
319 (C)	SLS:CHR/12=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+15)*1.00$
320 (C)	SLS:CHR/13=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+16)*1.00+2*0.50$
321 (C)	SLS:CHR/14=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+16)*1.00$
322 (C)	SLS:CHR/15=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+17)*1.00+2*0.50$
323 (C)	SLS:CHR/16=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+17)*1.00$
324 (C)	SLS:CHR/17=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+18)*1.00+2*0.50$
325 (C)	SLS:CHR/18=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(12+1+18)*1.00$
326 (C)	SLS:CHR/19=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1)*1.00$
327 (C)	SLS:CHR/20=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+15)*1.00+2*0.50$
328 (C)	SLS:CHR/21=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+15)*1.00$
329 (C)	SLS:CHR/22=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+16)*1.00+2*0.50$
330 (C)	SLS:CHR/23=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+16)*1.00$
331 (C)	SLS:CHR/24=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+17)*1.00+2*0.50$
332 (C)	SLS:CHR/25=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+17)*1.00$
333 (C)	SLS:CHR/26=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+18)*1.00+2*0.50$
334 (C)	SLS:CHR/27=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(13+1+18)*1.00$
335 (C)	SLS:CHR/28=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(14+1)*1.00$
336 (C)	SLS:CHR/29=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(14+1+15)*1.00+2*0.50$
337 (C)	SLS:CHR/30=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(14+1+15)*1.00$
338 (C)	SLS:CHR/31=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(14+1+16)*1.00+2*0.50$
339 (C)	SLS:CHR/32=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	$(14+1+16)*1.00$

Tablica 13.: Kombinacije djelovanja

340 (C)	SLS:CHR/33=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+17)*1.00+2*0.50
341 (C)	SLS:CHR/34=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+17)*1.00
342 (C)	SLS:CHR/35=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+18)*1.00+2*0.50
343 (C)	SLS:CHR/36=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+18)*1.00
344 (C)	SLS:CHR/37=11	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(11+1+2)*1.00
345 (C)	SLS:CHR/38=11	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(11+1+2)*1.00+15*0.50
346 (C)	SLS:CHR/39=11	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(11+1+2)*1.00+16*0.50
347 (C)	SLS:CHR/40=11	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(11+1+2)*1.00+17*0.50
348 (C)	SLS:CHR/41=11	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(11+1+2)*1.00+18*0.50
349 (C)	SLS:CHR/42=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(12+1+2)*1.00
350 (C)	SLS:CHR/43=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(12+1+2)*1.00+15*0.50
351 (C)	SLS:CHR/44=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(12+1+2)*1.00+16*0.50
352 (C)	SLS:CHR/45=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(12+1+2)*1.00+17*0.50
353 (C)	SLS:CHR/46=12	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(12+1+2)*1.00+18*0.50
354 (C)	SLS:CHR/47=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(13+1+2)*1.00
355 (C)	SLS:CHR/48=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(13+1+2)*1.00+15*0.50
356 (C)	SLS:CHR/49=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(13+1+2)*1.00+16*0.50
357 (C)	SLS:CHR/50=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(13+1+2)*1.00+17*0.50
358 (C)	SLS:CHR/51=13	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(13+1+2)*1.00+18*0.50
359 (C)	SLS:CHR/52=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+2)*1.00
360 (C)	SLS:CHR/53=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+2)*1.00+15*0.50
361 (C)	SLS:CHR/54=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+2)*1.00+16*0.50
362 (C)	SLS:CHR/55=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+2)*1.00+17*0.50
363 (C)	SLS:CHR/56=14	Linear Combinati	SLS:CH	dead	(14+1+2)*1.00+18*0.50
364 (C)	SLS:FRE/57=11*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(11+1)*1.00
365 (C)	SLS:FRE/58=12*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(12+1)*1.00
366 (C)	SLS:FRE/59=13*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(13+1)*1.00
367 (C)	SLS:FRE/60=14*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(14+1)*1.00
368 (C)	SLS:FRE/61=11*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(11+1)*1.00+15*0.20
369 (C)	SLS:FRE/62=11*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(11+1)*1.00+16*0.20
370 (C)	SLS:FRE/63=11*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(11+1)*1.00+17*0.20
371 (C)	SLS:FRE/64=11*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(11+1)*1.00+18*0.20
372 (C)	SLS:FRE/65=12*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(12+1)*1.00+15*0.20
373 (C)	SLS:FRE/66=12*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(12+1)*1.00+16*0.20
374 (C)	SLS:FRE/67=12*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(12+1)*1.00+17*0.20
375 (C)	SLS:FRE/68=12*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(12+1)*1.00+18*0.20
376 (C)	SLS:FRE/69=13*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(13+1)*1.00+15*0.20
377 (C)	SLS:FRE/70=13*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(13+1)*1.00+16*0.20
378 (C)	SLS:FRE/71=13*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(13+1)*1.00+17*0.20
379 (C)	SLS:FRE/72=13*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(13+1)*1.00+18*0.20
380 (C)	SLS:FRE/73=14*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(14+1)*1.00+15*0.20
381 (C)	SLS:FRE/74=14*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(14+1)*1.00+16*0.20
382 (C)	SLS:FRE/75=14*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(14+1)*1.00+17*0.20
383 (C)	SLS:FRE/76=14*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(14+1)*1.00+18*0.20
384 (C)	SLS:FRE/77=11*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(11+1)*1.00+2*0.20
385 (C)	SLS:FRE/78=12*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(12+1)*1.00+2*0.20
386 (C)	SLS:FRE/79=13*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(13+1)*1.00+2*0.20
387 (C)	SLS:FRE/80=14*	Linear Combinati	SLS:FR	dead	(14+1)*1.00+2*0.20
388 (C)	SLS:QPR/81=11	Linear Combinati	SLS:QP	dead	(11+1)*1.00
389 (C)	SLS:QPR/82=12	Linear Combinati	SLS:QP	dead	(12+1)*1.00
390 (C)	SLS:QPR/83=13	Linear Combinati	SLS:QP	dead	(13+1)*1.00
391 (C)	SLS:QPR/84=14	Linear Combinati	SLS:QP	dead	(14+1)*1.00



## 7.6 Klasifikacija okvira

Kriterij poduprt-nepoduprt

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

Kriterij pomičan-nepomičan

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} \geq k_o \text{ za bočno nepomični mod izvijanja, } k_o = 25$$

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{F_{cr,sw}}{F_d} \geq 10 \text{ za bočno pomični mod izvijanja}$$

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{K_{st} \cdot H_{st}}{\sum N_{Ed,i}}$$

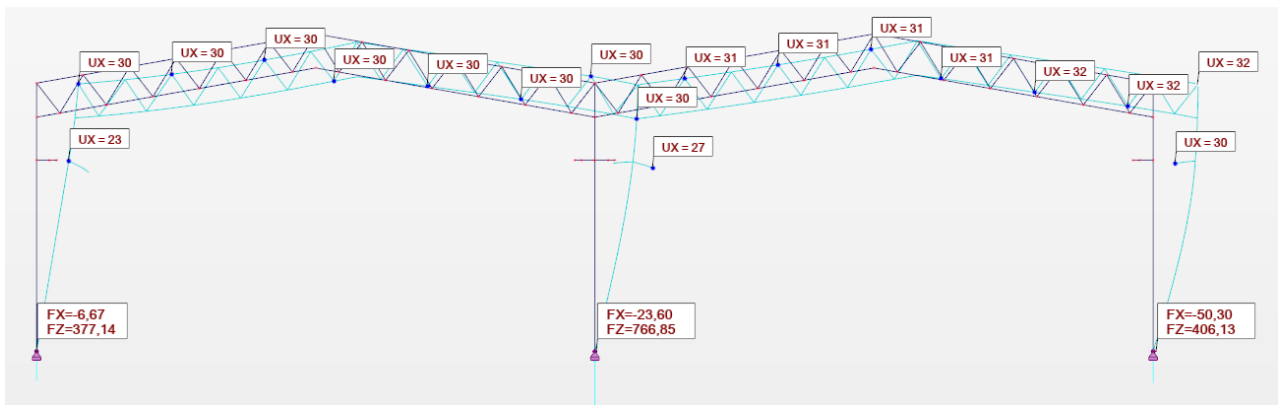
$$K_{st} = \frac{H_f}{\Delta_f} \text{ pri čemu je: } \begin{array}{l} H_f \text{ fiktivna horizontalna sila na vrhu stupa kata} \\ \Delta_f \text{ horizontalni pomak na vrhu kata uslijed djelovanja } H_f \\ H_{st} \text{ visina kata} \end{array}$$

$\sum N_{Ed,i}$  suma uzdužnih sila u stupovima koji se promatraju

(NAPOMENA: prema starim normama  $\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$  za elastični proračun i  $\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$  za plastični proračun)

Proračunom u programu Robot Structural Analysis Professional 2023 dobivene su sljedeće vrijednosti:

Za najveću vrijednost sume pomaka (kombinacija C0121)



Slika 90.: Pomaci i reakcije za mjerodavnu kombinaciju 121

Za mjerodavnu kombinaciju dobivene su sljedeće vrijednosti:

$$\sum N_{Ed,i} = 377,14 + 766,85 + 406,13 = 1550,12 \text{ kN}$$

$$H_f = -6,67 - 23,60 - 50,30 = -80,57 \text{ kN}$$

$$\Delta_f = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{30,0 + 32,0}{2} = 31,0 \text{ mm}$$

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{H_f}{\Delta_f} \cdot \frac{H_{st}}{\sum N_{Ed,i}} = \frac{80,57}{1550,12} \cdot \frac{12,0}{0,031} = 20,12 > 10,0$$

Za  $\alpha_{cr,ns}$  uzimamo sile koje djeluju na pojedine elemente okvira  $F_d$  i elastične kritične sile pri kojima dolazi do izvijanja elemenata okvira  $F_{cr,ns}$ . Sile  $F_d$  su uzete prema statičkom proračunu za danu kombinaciju, a  $F_{cr,ns}$  je određen računski za svaki element.

Stup:

$$F_d = 1029,17 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} = 7012,35 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{7012,35}{1029,17} = 6,81 < 25$$

Gornji pojas:

$$F_d = 178,44 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{4284,03}{178,44} = 24,01 < 25$$

Donji pojas:

$$F_d = 202,52 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{4284,03}{202,52} = 21,15 < 25$$

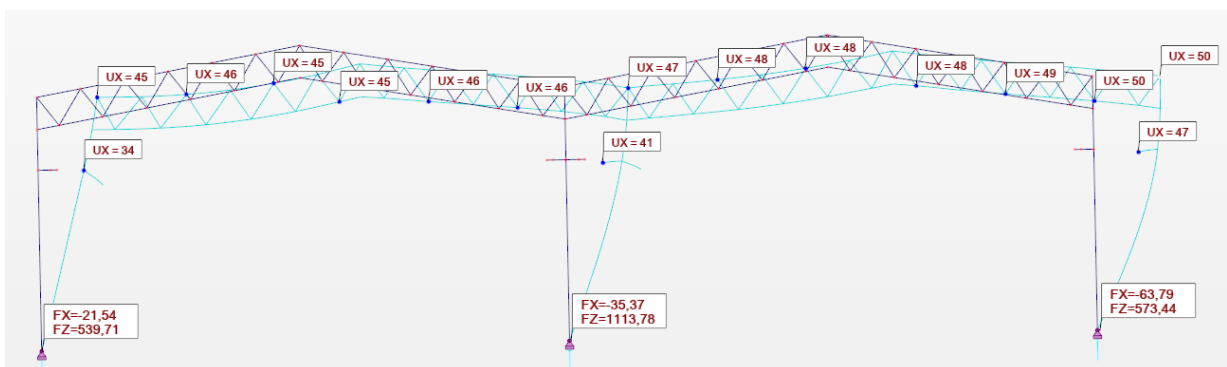
Ispuna:

$$F_d = 40,13 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45,9}{200^2} = 237,83 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{237,83}{40,13} = 5,93 < 25$$

Za najveću vertikalnu reakciju (kombinacija C0132)



Slika 91.: Pomaci i reakcije za mjerodavnu kombinaciju 132

$$\sum N_{Ed,i} = 539,71 + 1113,78 + 573,44 = 1726,93 \text{ kN}$$

$$H_f = -21,54 - 35,37 - 63,79 = -120,7 \text{ kN}$$

$$\Delta_f = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{45,0 + 50,0}{2} = 47,5 \text{ mm}$$

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{H_f}{\Delta_f} \cdot \frac{H_{st}}{\sum N_{Ed,i}} = \frac{120,7}{1726,93} \cdot \frac{12,0}{0,0475} = 17,66 > 10,0$$

Za  $\alpha_{cr,ns}$  uzimamo sile koje djeluju na pojedine elemente okvira  $F_d$  i elastične kritične sile pri kojima dolazi do izvijanja elemenata okvira  $F_{cr,ns}$ . Sile  $F_d$  su uzete prema statičkom proračunu za danu kombinaciju, a  $F_{cr,ns}$  je određen računski za svaki element.

Stup:

$$F_d = 1113,78 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} = 7012,35 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{7012,35}{1113,78} = 6,29 < 25$$

Gornji pojas:

$$F_d = 239,86 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{4284,03}{239,86} = 17,86 < 25$$

Donji pojas:

$$F_d = 172,49 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{4284,03}{172,49} = 24,84 < 25$$

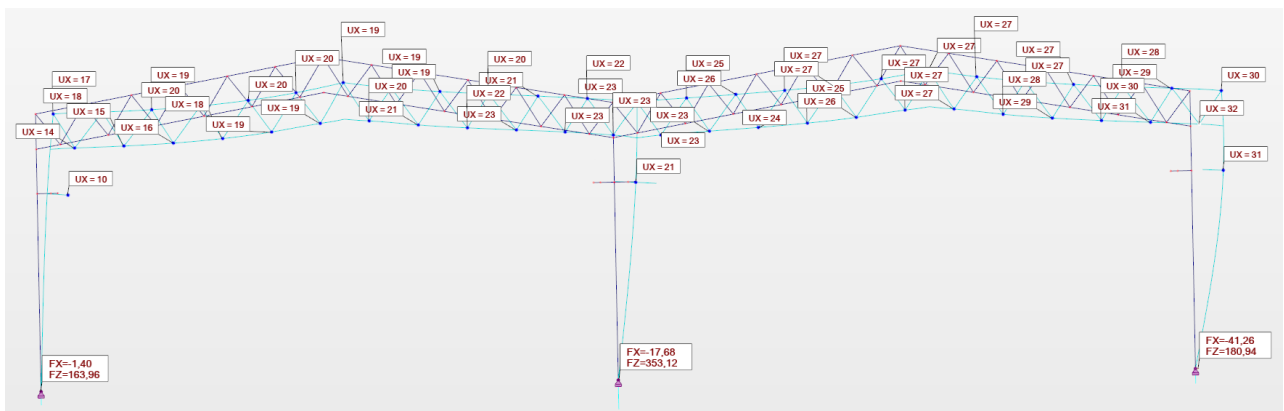
Ispuna:

$$F_d = 73,05 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45,9}{200^2} = 237,83 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{237,83}{73,05} = 3,26 < 25$$

Za najmanju sumu horizontalnih reakcija (kombinacija CO235)



Slika 92.: Pomaci i reakcije za mjerodavnu kombinaciju 235

$$\sum N_{Ed,i} = 163,96 + 353,12 + 180,94 = 698,02 \text{ kN}$$

$$H_f = -1,4 - 17,68 - 41,26 = -60,34 \text{ kN}$$

$$\Delta_f = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \frac{18 + 30}{2} = 24 \text{ mm}$$

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{H_f}{\Delta_f} \cdot \frac{H_{st}}{\sum N_{Ed,i}} = \frac{60,34}{0,024} \cdot \frac{12,0}{698,02} = 43,22 > 10,0$$

Za  $\alpha_{cr,ns}$  uzimamo sile koje djeluju na pojedine elemente okvira  $F_d$  i elastične kritične sile pri kojima dolazi do izvijanja elemenata okvira  $F_{cr,ns}$ . Sile  $F_d$  su uzete prema statičkom proračunu za danu kombinaciju, a  $F_{cr,ns}$  je određen računski za svaki element.

Stup:

$$F_d = 353,12 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} = 7012,35 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{7012,35}{353,12} = 19,86 < 25$$

Gornji pojas:

$$F_d = 358,53 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{4284,03}{358,53} = 11,95 < 25$$

Donji pojas:

$$F_d = 205,67 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{4284,03}{205,67} = 20,83 < 25$$

Ispuna:

$$F_d = 129,51 \text{ kN}$$

$$F_{cr,ns} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45,9}{200^2} = 237,83 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} = \frac{237,83}{129,51} = 1,84 < 25$$

Prema normi [14] ukoliko je uvjet za  $\alpha_{cr,sw}$  zadovoljen, a za  $\alpha_{cr,ns}$  nije, primjenjuje se metoda M2 koja kaže da se razmatraju globalne imperfekcije, primjenjuje globalna analiza 1. reda za određivanje momenata i unutarnjih sila i provjera otpornosti elemenata na izvijanje se mora razmatrati za prikladne duljine izvijanja za nepomični mod i odgovarajuće dijagrame momenata savijanja.

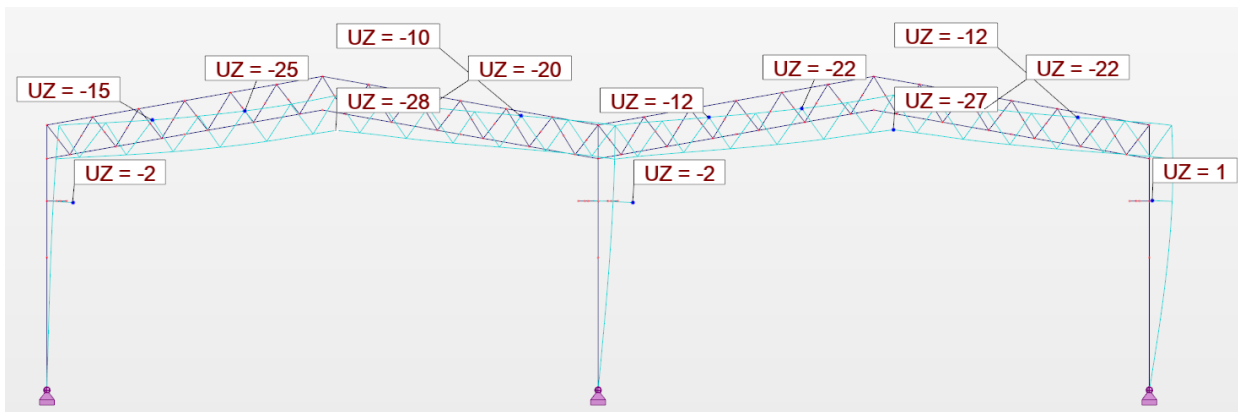
## 7.7 GSU – provjera vertikalnih i horizontalnih progiba

Budući da nove norme ne daju granične vrijednosti progiba za industrijske građevine, korištene su granične vrijednosti iz nacionalnog dodatka starih normi [15].

Kriteriji:

1. Progib na sredini rešetke:  $\delta_V < \frac{L}{250}$
2. horizontalni pomak stupa:  $\delta_H < \frac{H}{150}$

### 1. Najveći progib u sredini rešetke (CO230)

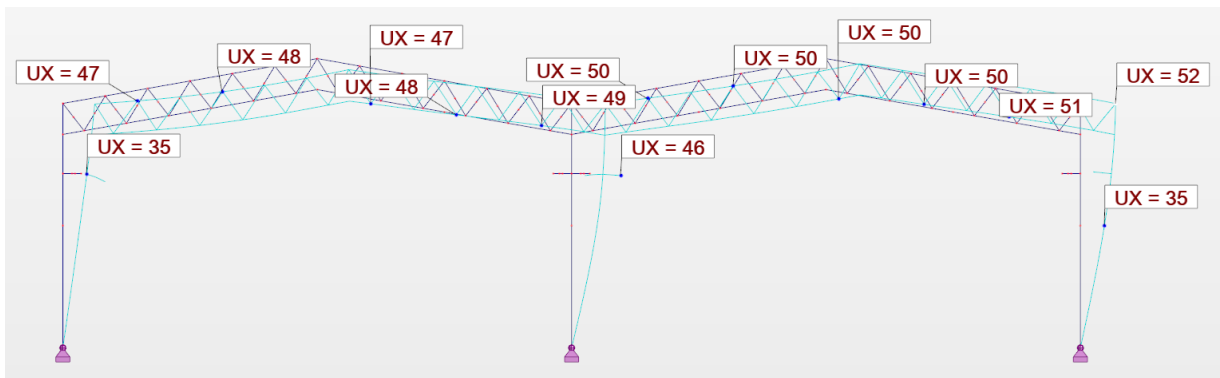


Slika 93.: Najveći progib na sredini rešetke

$$\delta_{V,\max} = 28 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{25000}{250} = 100 \text{ mm}$$

Iskoristivost okvira na najveći progib u sredini rešetke je 28%.

## 2. Najveći horizontalni pomak stupa (C0311)



Slika 94.: Najveći horizontalni pomak stupa

$$\delta_{H,\max} = 52 \text{ mm} < \frac{H}{150} = \frac{12000}{150} = 80,0 \text{ mm}$$

Iskoristivost okvira na najveći horizontalni pomak je 65%.

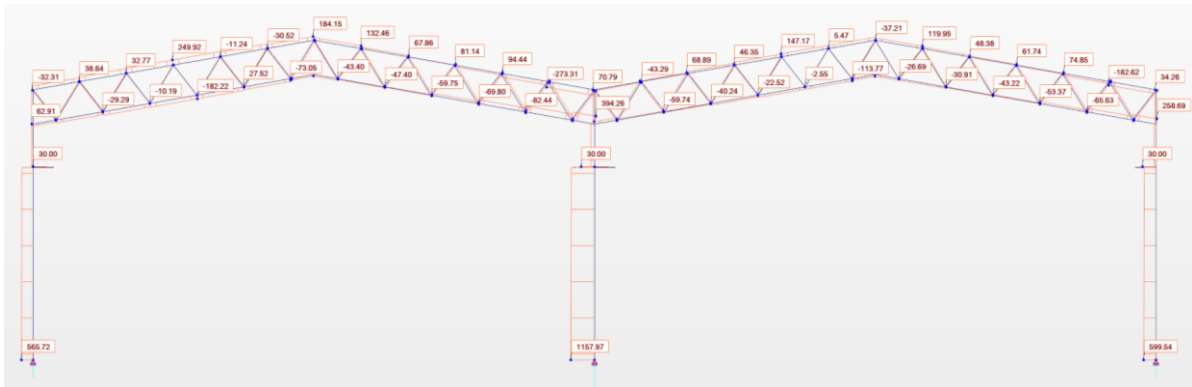
Iskoristivost okvira na GSU je 65%.



## 7.8 Dijagrami mjerodavnih vrijednosti za dimenzioniranje

Mjerodavna kombinacija za koju su mjerodavne sile za dimenzioniranje je C0123.

### Dijagram uzdužnih sila



Slika 95.: Dijagram uzdužnih sila

Mjerodavna uzdužna tlačna sila u gornjem pojasu:  $N = 249,92 \text{ kN}$

Mjerodavna uzdužna vlačna sila u gornjem pojasu:  $N = 273,31 \text{ kN}$

Mjerodavna uzdužna tlačna sila u donjem pojasu:  $N = 394,26 \text{ kN}$

Mjerodavna uzdužna vlačna sila u donjem pojasu:  $N = 182,22 \text{ kN}$

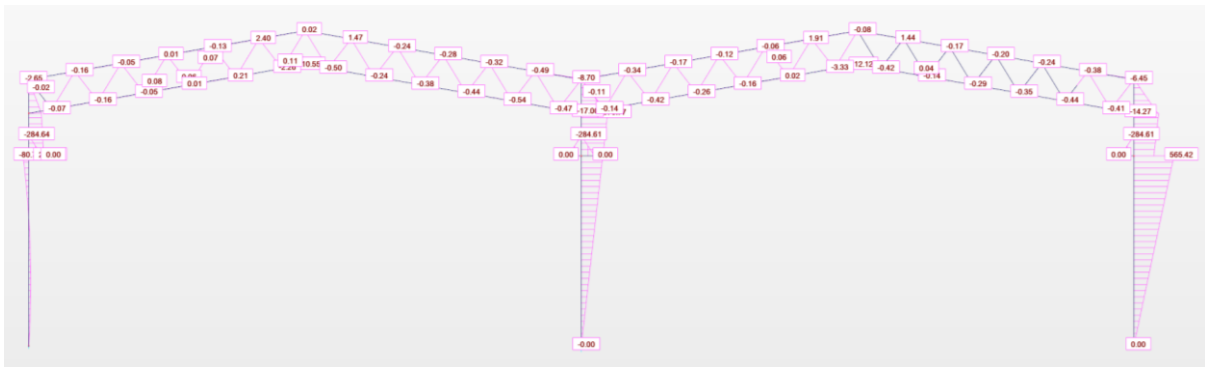
Mjerodavna uzdužna tlačna sila u vanjskom stupu:  $N = 599,54 \text{ kN}$

Mjerodavna uzdužna tlačna sila u unutarnjem stupu:  $N = 1157,97 \text{ kN}$

Mjerodavna uzdužna tlačna sila ispune:  $N = 196,34 \text{ kN}$

Mjerodavna uzdužna vlačna sila ispune:  $N = 202,99 \text{ kN}$

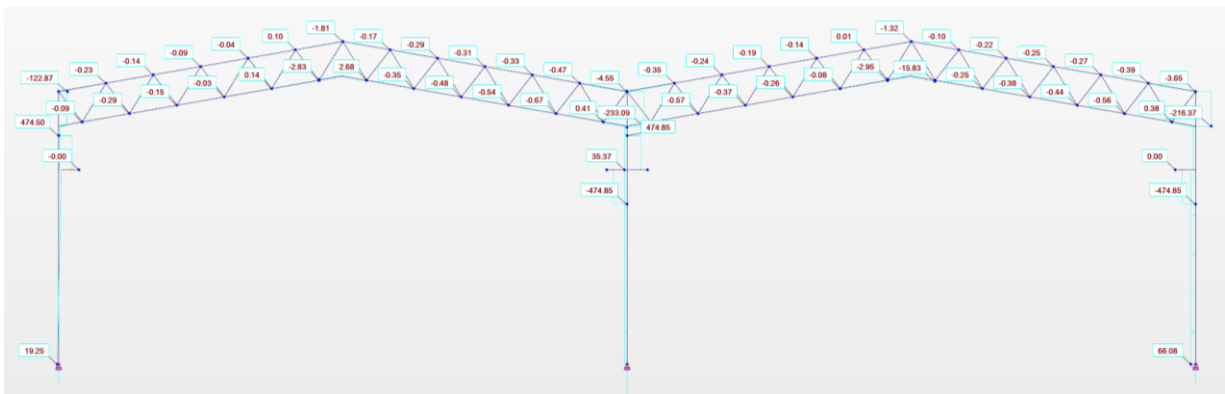
Dijagram momenata savijanja



Slika 96.: Dijagram momenata savijanja

Mjerodavni moment savijanja u vanjskom i unutarnjem stupu:  $M = 565,42 \text{ kNm}$

Dijagram poprečnih sila



Slika 97.: Dijagram poprečnih sila

Mjerodavna poprečna sila u vanjskom i unutarnjem stupu:  $V = 66,08 \text{ kN}$

## 7.9 Dimenzioniranje okvira

### 7.9.1 Element ispune (tlačni)

Tablica 14.: Poprečni presjek ispune

RHS 60x60x4			
	visina presjeka	h(mm)	60
	Širina presjeka	b(mm)	60
	debljina stijenke	t(mm)	4
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	8,82
	momenti površine 2. stupnja	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	45,9
	momenti otpora	W (cm <sup>3</sup> )	15,3
	torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	71,7

Dimenzioniranje elementa ispune kao tlačnog elementa

Odabrano: 60x60x4 (toplo dogotovljeni)

kvaliteta čelika S 355

A = 8,82 cm<sup>2</sup>

Poprečni presjek je klase 1

**Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,82 \cdot 35,5}{1,0} = 313,11 \text{ kN}$$

$N_{c,Rd} = 313,11 \text{ kN} > N_{Ed} = 196,34 \text{ kN}$       Zadovoljava!

Iskoristivost presjeka na tlak je 63 %,

**Otpornost elementa na izvijanje**

$L_i = 2,0$  m

- Faktor redukcije

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45,9}{200^2} = 237,83 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 8,82}{237,83}} = 1,15$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(1,15 - 0,2) + 1,15^2] = 1,261$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,261 + \sqrt{1,261^2 - 1,15^2}} = 0,66$$

Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,66 \cdot \frac{8,82 \cdot 35,5}{1,0} = 206,65 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 206,65 \text{ kN} > N_{Ed} = 196,34 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost presjeka na izvijanje je 95 %,

## 7.9.2 Element ispune (vlačni)

Tablica 15.: Poprečni presjek ispune

RHS 60x60x4			
	visina presjeka	h(mm)	60
	Širina presjeka	b(mm)	60
	debljina stijenke	t(mm)	4
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	8,82
	momenti površine 2. stupnja	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	45,9
	momenti otpora	W (cm <sup>3</sup> )	15,3
	torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	71,7

Dimenzioniranje elementa ispune kao vlačnog elementa.

Odabrano: 60x60x4 (toplo dogotovljeni)

kvaliteta čelika S 355

A = 8,82 cm<sup>2</sup>

Poprečni presjek je klase 1

Otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu

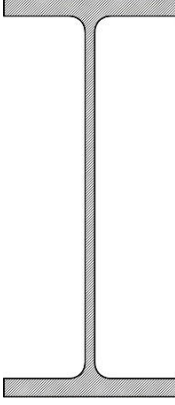
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,82 \cdot 35,5}{1,0} = 313,11 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = 313,11 \text{ kN} > N_{Ed} = 202,99 \text{ kN}$       Zadovoljava!

Iskoristivost elementa na vlak je 65%.

## 7.9.3 Gornji pojas rešetke

Tablica 16.: Poprečni presjek gornjeg pojasa

HEA 180			
	visina presjeka	h(mm)	180
	Širina presjeka	b(mm)	171
	debljina pojasnice	t <sub>f</sub> (mm)	9,5
	debljina hrpta	t <sub>w</sub> (mm)	6
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	45,25
	momenti površine 2. stupnja	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	2510
		I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	924,6
	momenti otpora	W <sub>el,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	293,6
		W <sub>el,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	102,7
		W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	324,9
		W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	156,5
torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	14,8	
konstanta krivljenja	I <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )	60,21*10 <sup>3</sup>	

Dimenzioniranje gornjeg pojasa rešetke na vlačnu i tlačnu silu. Duljina gornjeg pojasa rešetke je 12,443 m, pridržanja gornjeg pojasa osiguravaju dijagonale ispune oko y osi na razmaku 2,115 m, a podrožnice oko z osi na razmaku 2,115 m pa se te duljine uzimaju pri dimenzioniranju.

Odabrano: HEA 180 (toplo dogotovljeni)

kvaliteta čelika S 355

A = 45,25 cm<sup>2</sup>

Poprečni presjek je klase 1

**Otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu**

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,25 \cdot 35,5}{1,0} = 1606,38 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 1606,38 \text{ kN} > N_{Ed} = 273,31 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa na vlak je 17%.

### Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,25 \cdot 35,5}{1,0} = 1606,38 \text{ kN}$$

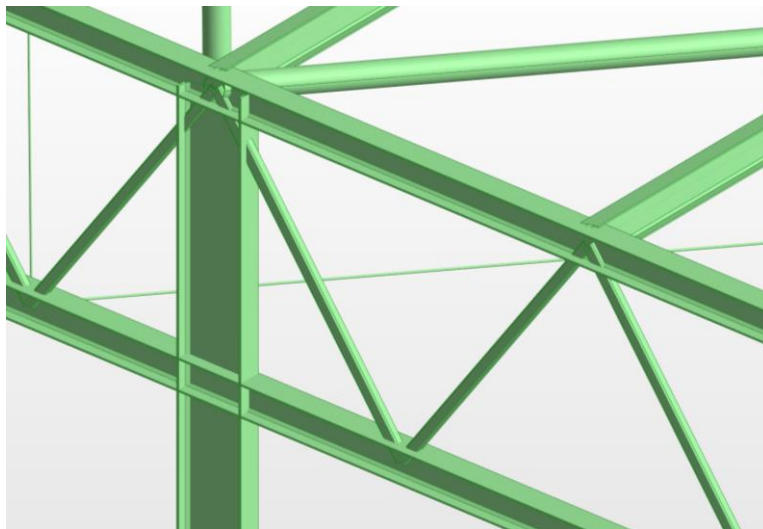
$$N_{c,Rd} = 1606,38 \text{ kN} > N_{Ed} = 249,92 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost presjeka na tlak je 16 %

### Otpornost elementa na izvijanje

$$L_{cr,y} = 2,115 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 2,115 \text{ m}$$



Slika 98.: Prikaz modela pridrzanja gornjeg pojasa

- Faktor redukcije

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{211,5^2} = 11629,79 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 45,25}{11629,79}} = 0,371$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,371 - 0,2) + 0,371^2] = 0,587$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,587 + \sqrt{0,587^2 - 0,371^2}} = 0,96$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{211,5^2} = 4284,03 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 45,25}{4284,03}} = 0,61$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,61 - 0,2) + 0,61^2] = 0,73$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,61^2}} = 0,88$$

$$\chi_{\min} = 0,88$$

### Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,88 \cdot \frac{45,25 \cdot 35,5}{1,0} = 1413,61 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 1413,61 \text{ kN} > N_{Ed} = 249,92 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

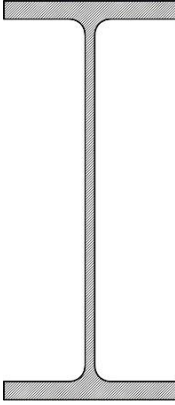
Iskoristivost elementa na izvijanje je 18%.



(NAPOMENA: Iako se u praksi teži postići iskoristivost presjeka preko 80%, što u ovom slučaju nije zadovoljeno, dobiveni rezultat možemo opravdati time što se težilo postizanju nepomičnog sustava i korištenju teorije 1. reda u proračunu, a to se može postići ukoliko projektiramo veće poprečne presjeke čime smo, posljedično, dobili manju iskoristivost presjeka. Međutim, kako su za zadani statički sustav uvjeti za GSU bili stroži nego za GSN, za GSU je dobivena veća iskoristivost.)

#### 7.9.4 Donji pojas rešetke

Tablica 17.: Poprečni presjek donjeg pojasa

HEA 180			
	visina presjeka	$h$ (mm)	180
	Širina presjeka	$b$ (mm)	171
	debljina pojasnice	$t_f$ (mm)	9,5
	debljina hrpta	$t_w$ (mm)	6
	površina presjeka	$A$ (cm <sup>2</sup> )	45,25
	momenti površine 2. stupnja	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	2510
		$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	924,6
	momenti otpora	$W_{el,y}$ (cm <sup>3</sup> )	293,6
		$W_{el,z}$ (cm <sup>3</sup> )	102,7
		$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )	324,9
$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )		156,5	
torzijska konstanta	$I_t$ (cm <sup>4</sup> )	14,8	
konstanta krivljenja	$I_w$ (cm <sup>3</sup> )	$60,21 \cdot 10^3$	

Dimenzioniranje donjeg pojasa rešetke na vlačnu i tlačnu silu. Duljina donjeg pojasa rešetke je 12,443 m, pridržanja donjeg pojasa osiguravaju dijagonale ispune oko  $y$  osi na razmaku 2,115 m, a zatezaljke oko  $z$  osi na razmaku 4,23 m pa se te duljine uzimaju pri dimenzioniranju.

Odabrano: HEA 180 (toplo dogotovljeni)

kvaliteta čelika S 355

$A = 45,25 \text{ cm}^2$

Poprečni presjek je klase 1

**Otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu**

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,25 \cdot 35,5}{1,0} = 1606,38 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = 1606,38 \text{ kN} > N_{Ed} = 182,22 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa na vlak je 11%.

**Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,25 \cdot 35,5}{1,0} = 1606,38 \text{ kN}$$

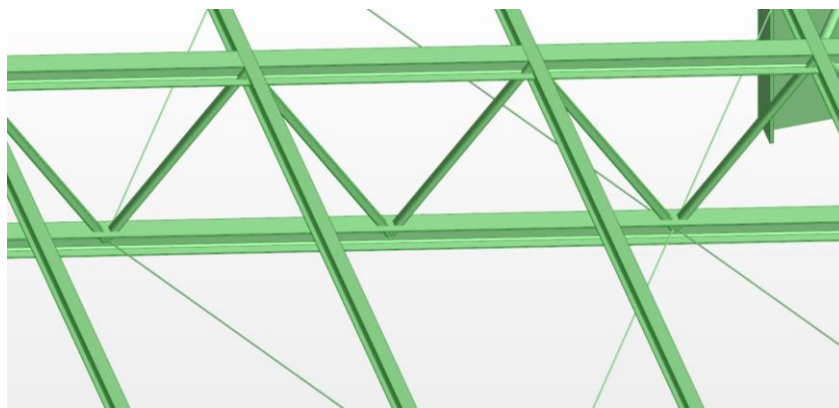
$$N_{c,Rd} = 1606,38 \text{ kN} > N_{Ed} = 394,26 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost presjeka na tlak je 25 %

**Otpornost elementa na izvijanje**

$$L_{cr,y} = 2,115 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 4,23 \text{ m}$$



Slika 99.: Prikaz modela pridržanja donjeg pojasa

- Faktor redukcije

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2510}{211,5^2} = 11629,79 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 45,25}{11629,79}} = 0,371$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,371 - 0,2) + 0,371^2] = 0,587$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,587 + \sqrt{0,587^2 - 0,371^2}} = 0,96$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 924,6}{423^2} = 1071,01 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 45,25}{1071,01}} = 1,42$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(1,42 - 0,2) + 1,42^2] = 1,64$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,64 + \sqrt{1,64^2 - 1,42^2}} = 0,40$$

$$\chi_{\min} = 0,40$$

## Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,40 \cdot \frac{45,25 \cdot 35,5}{1,0} = 642,55 \text{ kN}$$

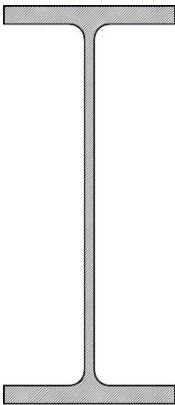
$$N_{b,Rd} = 642,55 \text{ kN} > N_{Ed} = 394,26 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa na izvijanje je 61%.

(NAPOMENA: Iako se u praksi teži postići iskoristivost presjeka preko 80%, što u ovom slučaju nije zadovoljeno, dobiveni rezultat možemo opravdati time što se težilo postizanju nepomičnog sustava i korištenju teorije 1. reda u proračunu, a to se može postići ukoliko projektiramo veće poprečne presjeke čime smo, posljedično, dobili manju iskoristivost presjeka. Međutim, kako su za zadani statički sustav uvjeti za GSU bili stroži nego za GSN, za GSU je dobivena veća iskoristivost.)

## 7.9.5 Stup okvira (vanjski)

Tablica 18.: Poprečni presjek vanjskog stupa

HEA 700			
	visina presjeka	h(mm)	690
	Širina presjeka	b(mm)	300
	debljina pojasnice	t <sub>f</sub> (mm)	27
	debljina hrpta	t <sub>w</sub> (mm)	14,5
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	260,2
	momenti površine 2. stupnja	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	215300
		I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	12180
	momenti otpora	W <sub>el,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	624,1
		W <sub>el,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	811,9
		W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	7032
		W <sub>pl,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	1257
torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	513,9	
konstanta krivljenja	I <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )	13350*10 <sup>3</sup>	

**Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{260,5 \cdot 35,5}{1,0} = 9247,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 9247,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 599,54 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost presjeka na tlak je 6 %

**Otpornost poprečnog presjeka na moment savijanja:**

$$M_{c,Rd,y-y} = M_{pl,Rd,y-y} = \frac{W_{pl,y-y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7032 \cdot 35,5}{1,0} = 249636 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 249636 \text{ kNcm} = 2496,36 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y-y}} \leq 1,0$$

$$\frac{565,42}{2496,36} = 0,23 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 23%.

**Posmična otpornost poprečnog presjeka:**

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 690 - 2 \cdot 27 = 636 \text{ mm}$$

$$\eta = 1.20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{636}{14,5} = 43,86 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 260,5 - 2 \cdot 30 \cdot 2,7 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,7 = 117 \text{ cm}^2$$

$$117 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 63,6 \cdot 1,45 = 110,66 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{117 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 2398,02 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Ed}} \leq 1,0$$

$$\frac{66,08}{2398,02} = 0,03 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 3%.

## Interakcija M-N-V

$$V_{z,Ed} = 66,08 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{z,Rd} = 0,5 \cdot 2398,02 = 1199,01 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 599,54 \text{ kN} < 0,25 \cdot N_{c,Rd} = 2311,94 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 599,54 \text{ kN} < 0,50 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y = 0,5 \cdot 63,6 \cdot 1,45 \cdot 35,5 = 1636,91 \text{ kN}$$

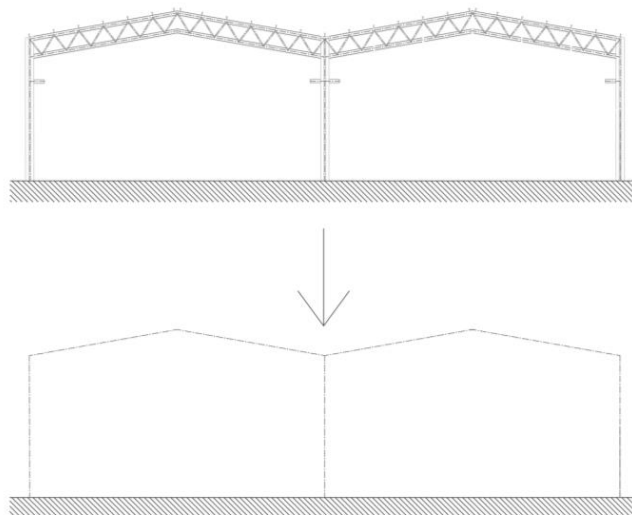
$$M_{N,V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 2496,36 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 565,42 \text{ kNm}$$

Interakcija M/V/N zadovoljava, iskoristivost presjeka je 68%.

## Otpornost elementa

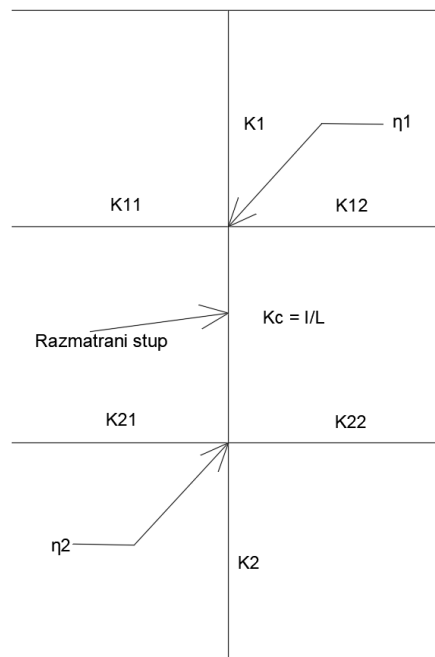
Otpornost elementa na izvijanje

Određivanje faktora efektivne dužine izvijanja



Slika 100.: Zamjenski model okvira

Krutost stupa:



Slika 101.: Krutost stupa

Moment tromosti prečke i stupa

$$I_{\text{prečke}} = (I_{y,\text{gornjeg pojasa}} + A \cdot z^2) + (I_{y,\text{donjeg pojasa}} + A \cdot z^2)$$

$$I_{\text{prečke}} = (7763 + 76,8 \cdot 76,2^2) + (7763 + 76,8 \cdot 76,2^2) = 907395,18 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{stupa}} = 215300 \text{ cm}^4$$

Krutost prečke i stupa okvira

$$K_{\text{prečke}} = K_{11} = \frac{I_{\text{prečke}}}{L} = \frac{907395,18}{2500} = 362,96 \text{ cm}^3$$

$$K_{\text{stupa}} = K_c = \frac{I_{\text{stupa}}}{h} = \frac{215300}{1200} = 179,42 \text{ cm}^3$$



Koeficijenti  $\eta$

$$\eta_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{11}} = \frac{179,42}{179,42 + 362,96} = 0,33$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ (stup je zglobno oslonjen)}$$

Koeficijent  $k$  za bočno nepomičan mod

$$k = 0,5 + 0,14 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 \cdot (\eta_1 + \eta_2)^2$$

$$k = 0,5 + 0,14 \cdot (0,33 + 1,0) + 0,055 \cdot (0,33 + 1,0)^2 = 0,78$$

Efektivne duljine izvijanja

$$L_{i,y} = k \cdot L = 0,78 \cdot 1200 = 936 \text{ cm}$$

$$L_{i,z} = k \cdot L = 0,50 \cdot 1200 = 600 \text{ cm} \quad (\text{prečka se nalazi na pola visine stupa})$$

Određivanje otpornosti elementa na izvijanje

-Os  $y$ - $y$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 215300}{936^2} = 50934,42 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 260,5}{50934,42}} = 0,43$$

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

$$t_f < 40 \text{ mm}$$

→ krivulja izvijanja a →  $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,43 - 0,2) + 0,43^2]$$

$$\phi_y = 0,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,43^2}} = 0,94$$

$$N_{y,b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,94 \cdot \frac{260,5 \cdot 35,5}{1,0} = 8692,89 \text{ kN}$$

$$N_{y,b,Rd} = 8692,89 \text{ kN} > N_{Ed} = 599,54 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 7%.

-Os z-z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} = 7012,35 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 260,5}{7012,35}} = 1,15$$

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

$$t_f < 40 \text{ mm}$$

→ krivulja izvijanja a →  $\alpha = 0,21$

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

$$\phi_z = 1,26$$

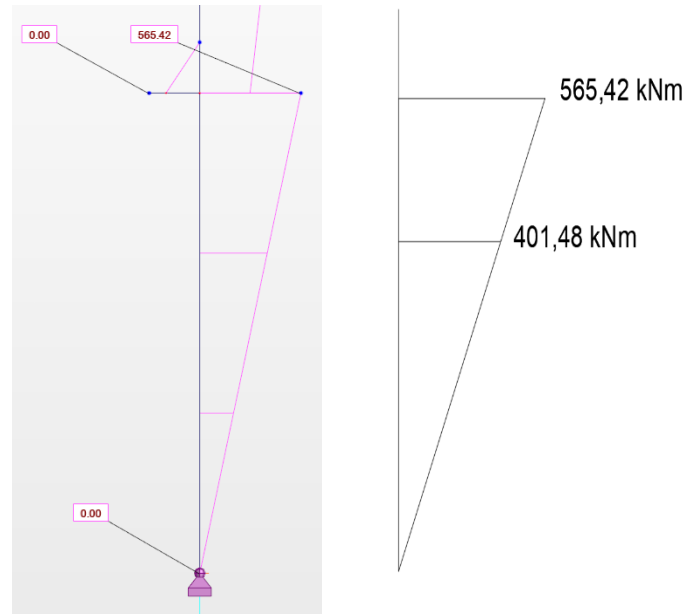
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,26 + \sqrt{1,26^2 - 1,15^2}} = 0,56$$

$$N_{z,b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,56 \cdot \frac{260,5 \cdot 35,5}{1,0} = 5178,74 \text{ kN}$$

$$N_{z,b,Rd} = 5178,74 \text{ kN} > N_{Ed} = 599,54 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 11%.

## Određivanje otpornosti elementa na savijanje



Slika 101.: Moment savijanja stupa

Određivanje faktora  $C_1$  i  $C_2$

$$-1 \leq \Psi \leq 1,0$$

$$\Psi = \frac{401,48}{565,42} = 0,7$$

$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M} \approx 0$$

→ očitano:  $C_1 = 1,48$ ,  $C_2 = 0$

$$k_w = 1,00$$

$$k = 1,00$$

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \right]$$

(NAPOMENA: dani izraz nije prikazan u normama pa će se koristiti izraz iz tehničkog dodatka)

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$I_w = 13350000 \text{ cm}^6$$

$$I_z = 12180 \text{ cm}^4$$

$$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = 1,48 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{13350000}{12180} + \frac{600^2 \cdot 8100 \cdot 513,9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}} \right]$$

$$M_{cr} = 426605,2 \text{ kNcm} = 4266,052 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7032 \cdot 35,5}{426605,2}} = 0,76$$

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

$$t_f \leq 40 \text{ mm}$$

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

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + 1 \left( \left( \frac{0,76}{1,15} \right)^2 \cdot 0,21(1,15 - 0,2) + 0,76^2 \right) \right]$$

$$\Phi_{LT} = 0,83$$

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

$$f_M = 1,25 - 0,1 \cdot \psi - 0,15 \cdot \psi^2$$

$$f_M = 1,25 - 0,1 \cdot 0,7 - 0,15 \cdot 0,7^2 = 1,11$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,83 + \sqrt{0,83^2 - 0,76^2}} = 0,86 > 1$$

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

Računska otpornost

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,86 \cdot \frac{7032 \cdot 35,5}{1,0} = 214687 \text{ kNcm} = 2146,87 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 2146,87 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 565,42 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 26%.

Interakcija M-N

(NAPOMENA: U starim normama je predviđena uporaba dvije metode za određivanje interakcijskih izraza, Metoda 1 i Metoda 2. U novoj normi nema takve podjele. Za provjeru interakcije postoji alternativna metoda dana u tehničkoj specifikaciji [22], ali će se koristiti izrazi dani u novoj normi [14].)

Određivanje interakcijskih faktora  $k_{ij}$

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

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

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,7 = 0,88$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot n_y)$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

(NAPOMENA: prema starim normama

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

$$k_{yy} = 0,88 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{599,54}{0,94 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,93$$

$$\Psi = \frac{401,48}{565,42} = 0,7 \text{ (aproksimirana vrijednost dijagrama)}$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,7 = 0,88$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot n_z}{(C_{mLT} - 0,25)}$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama**

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

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,88 - 0,25)} \cdot \frac{599,54}{0,56 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} \right]$$

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

$$\frac{599,54}{0,94 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} + \frac{0,93 \cdot 565,42}{0,86 \cdot \frac{2496,36}{1,0}} = 0,31 < 1$$

$$\frac{599,54}{0,56 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} + \frac{0,98 \cdot 565,42}{0,86 \cdot \frac{2496,36}{1,0}} = 0,37 < 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 37%.

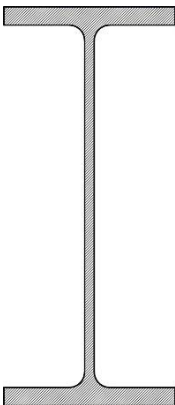
**(NAPOMENA: Iako se u praksi teži postići iskoristivost presjeka preko 80%, što u ovom slučaju nije zadovoljeno, dobiveni rezultat možemo opravdati time što se težilo postizanju nepomičnog sustava i korištenju teorije 1. reda u proračunu, a to se može postići ukoliko projektiramo veće poprečne presjeke čime smo, posljedično, dobili manju iskoristivost**



presjeka. Međutim, kako su za zadani statički sustav uvjeti za GSU bili stroži nego za GSN, za GSU je dobivena veća iskoristivost.)

### 7.9.6 Stup okvira (unutarnji)

Tablica 19.: Poprečni presjek unutarnjeg stupa stupa

HEA 700			
	visina presjeka	h(mm)	690
	Širina presjeka	b(mm)	300
	debljina pojasnice	$t_f$ (mm)	27
	debljina hrpta	$t_w$ (mm)	14,5
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	260,2
	momenti površine 2. stupnja	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	215300
		$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	12180
	momenti otpora	$W_{el,y}$ (cm <sup>3</sup> )	624,1
		$W_{el,z}$ (cm <sup>3</sup> )	811,9
		$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )	7032
$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )		1257	
torzijska konstanta	$I_t$ (cm <sup>4</sup> )	513,9	
konstanta krivljenja	$I_w$ (cm <sup>3</sup> )	13350*10 <sup>3</sup>	

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{260,5 \cdot 35,5}{1,0} = 9247,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 9247,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 1157,97 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost presjeka na tlak je 12,5 %

Otpornost poprečnog presjeka na moment savijanja:

$$M_{c,Rd,y-y} = M_{pl,Rd,y-y} = \frac{W_{pl,y-y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7032 \cdot 35,5}{1,0} = 249636 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd,y-y} = 249636 \text{ kNcm} = 2496,36 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y-y}} \leq 1,0$$

$$\frac{565,42}{2496,36} = 0,23 \leq 1$$

Poprečni presjek zadovoljava na savijanje, uz iskoristivost 23%.

Posmična otpornost poprečnog presjeka:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 690 - 2 \cdot 27 = 636 \text{ mm}$$

$$\eta = 1.20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{636}{14,5} = 43,86 < 72 \cdot \frac{0,81}{1.20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 260,5 - 2 \cdot 30 \cdot 2,7 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,7 = 117 \text{ cm}^2$$

$$117 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 63,6 \cdot 1,45 = 110,66 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{117 \cdot (35,5/\sqrt{3})}{1,0} = 2398,02 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Ed}} \leq 1,0$$

$$\frac{66,08}{2398,02} = 0,03 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka je 3%.

Interakcija M-N-V

$$V_{z,Ed} = 66,08 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{z,Rd} = 0,5 \cdot 2398,02 = 1199,01 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1157,97 \text{ kN} < 0,25 \cdot N_{c,Rd} = 2311,94 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1157,97 \text{ kN} < 0,50 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y = 0,5 \cdot 63,6 \cdot 1,45 \cdot 35,5 = 1636,91 \text{ kN}$$

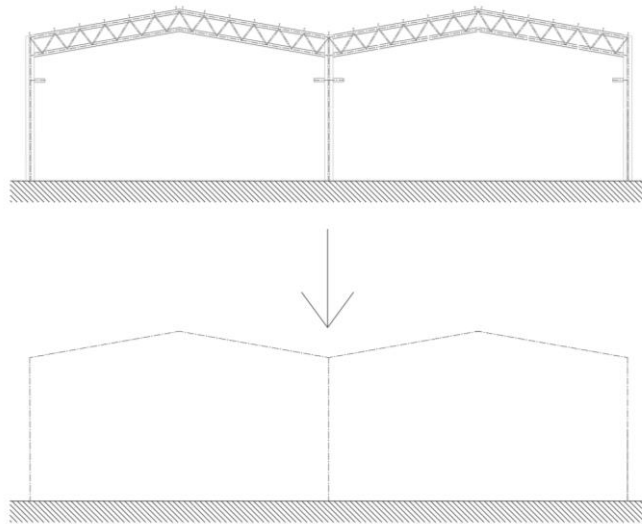
$$M_{N,V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 2496,36 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 565,42 \text{ kNm}$$

Interakcija M/V/N zadovoljava, iskoristivost presjeka je 98%.

## Otpornost elementa

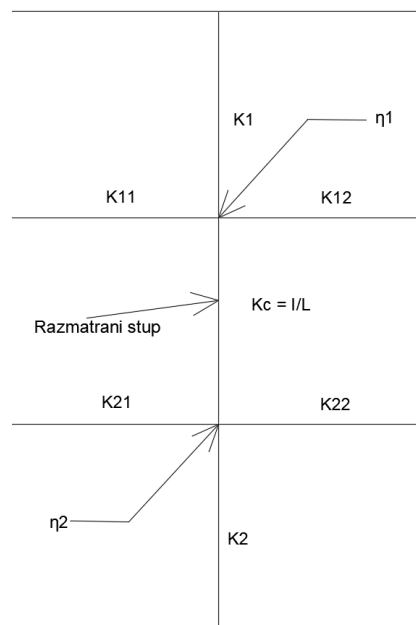
Otpornost elementa na izvijanje

Određivanje faktora efektivne dužine izvijanja



Slika 102.: Zamjenski model okvira

Krutost stupa:



Slika 103.: Krutost stupa

Moment tromosti prečke i stupa

$$I_{\text{prečke}} = (I_{y,\text{gornjeg pojasa}} + A \cdot z^2) + (I_{y,\text{donjeg pojasa}} + A \cdot z^2)$$

$$I_{\text{prečke}} = (7763 + 76,8 \cdot 76,2^2) + (7763 + 76,8 \cdot 76,2^2) = 907395,18 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{stupa}} = 215300 \text{ cm}^4$$

Krutost prečke i stupa okvira

$$K_{\text{prečke}} = K_{11} = \frac{I_{\text{prečke}}}{L} = \frac{907395,18}{2500} = 362,96 \text{ cm}^3$$

$$K_{\text{prečke}} = K_{12} = \frac{I_{\text{prečke}}}{L} = \frac{907395,18}{2500} = 362,96 \text{ cm}^3$$

$$K_{\text{stupa}} = K_c = \frac{I_{\text{stupa}}}{h} = \frac{215300}{1200} = 179,42 \text{ cm}^3$$

Koeficijenti  $\eta$

$$\eta_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{11} + K_{12}} = \frac{179,42}{179,42 + 362,96 + 362,96} = 0,20$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ (stup je zglobo oslonjen)}$$

Koeficijent k za bočno nepomičan mod

$$k = 0,5 + 0,14 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 \cdot (\eta_1 + \eta_2)^2$$

$$k = 0,5 + 0,14 \cdot (0,20 + 1,0) + 0,055 \cdot (0,20 + 1,0)^2 = 0,75$$

Efektivne duljine izvijanja

$$L_{i,y} = k \cdot L = 0,75 \cdot 1200 = 900 \text{ cm}$$

$$L_{i,z} = k \cdot L = 0,50 \cdot 1200 = 600 \text{ cm} \quad (\text{prečka se nalazi na pola visine stupa})$$

### Određivanje otpornosti elementa na izvijanje

-Os y-y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 215300}{900^2} = 55090,67 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 260,5}{55090,67}} = 0,41$$

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

$$t_f < 40 \text{ mm}$$

→ krivulja izvijanja a →  $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,41 - 0,2) + 0,41^2]$$

$$\phi_y = 0,61$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,41^2}} = 0,94$$

$$N_{y,b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,94 \cdot \frac{260,5 \cdot 35,5}{1,0} = 8692,89 \text{ kN}$$

$$N_{y,b,Rd} = 8692,89 \text{ kN} > N_{Ed} = 2719,25 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 31%.

-Os z-z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} = 7012,35 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 260,5}{7012,35}} = 1,15$$

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

$$t_f < 40 \text{ mm}$$

→ krivulja izvijanja a →  $\alpha = 0,21$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,21 \cdot (1,15 - 0,2) + 1,15^2 \right]$$

$$\phi_z = 1,26$$

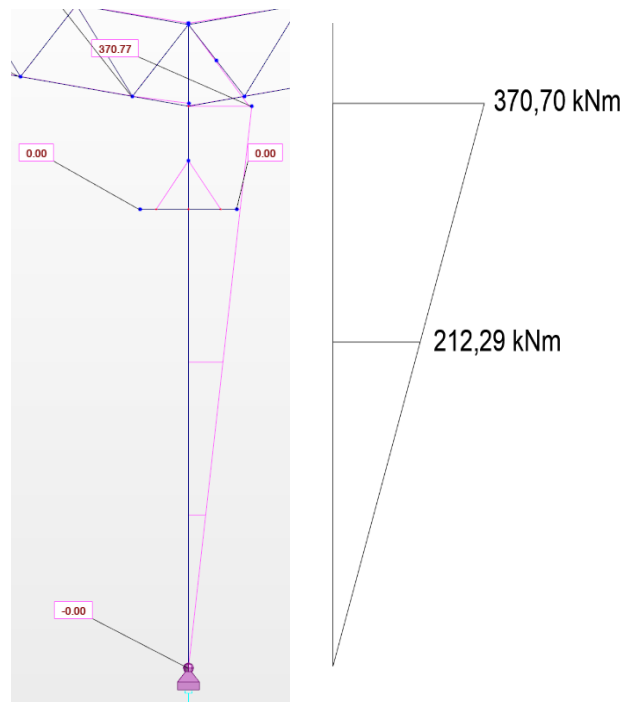
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,26 + \sqrt{1,26^2 - 1,15^2}} = 0,56$$

$$N_{z,b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,56 \cdot \frac{260,5 \cdot 35,5}{1,0} = 5178,74 \text{ kN}$$

$$N_{z,b,Rd} = 5178,74 \text{ kN} > N_{Ed} = 1157,97 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 22%.

### Određivanje otpornosti elementa na savijanje



Slika 104.: Moment savijanja stupa

Određivanje faktora  $C_1$  i  $C_2$

$$-1 \leq \Psi \leq 1,0$$

$$\Psi = \frac{212,29}{370,70} = 0,57$$



$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M} \approx 0$$

→ očitano:  $C_1 = 1,38$ ,  $C_2 = 0$

$$k_w = 1,00$$

$$k = 1,00$$

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \right]$$

**(NAPOMENA: dani izraz nije prikazan u normama pa će se koristiti izraz iz tehničkog dodatka)**

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$I_w = 13350000 \text{ cm}^6$$

$$I_z = 12180 \text{ cm}^4$$

$$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = 1,38 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{13350000}{12180} + \frac{600^2 \cdot 8100 \cdot 513,9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}} \right]$$

$$M_{cr} = 256842,34 \text{ kNcm} = 2568,42 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7032 \cdot 35,5}{256842,34}} = 0,99$$

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

$$t_f \leq 40 \text{ mm}$$

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

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + 1 \left( \left( \frac{0,99}{1,15} \right)^2 \cdot 0,21 (1,15 - 0,2) + 0,99^2 \right) \right]$$

$$\Phi_{LT} = 1,06$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \left( \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right]$ )**

$$f_M = 1,25 - 0,1 \cdot \psi - 0,15 \cdot \psi^2$$

$$f_M = 1,25 - 0,1 \cdot 0,57 - 0,15 \cdot 0,57^2 = 1,14$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,06 + \sqrt{1,06^2 - 0,99^2}} = 0,70$$

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

Računska otpornost

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,70 \cdot \frac{7032 \cdot 35,5}{1,0} = 174745,2 \text{ kNcm} = 1747,45 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 1747,45 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 370,70 \text{ kNm}$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 21%.

### Interakcija M-N

Određivanje interakcijskih faktora  $k_{ij}$

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

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

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,57 = 0,83$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot n_y)$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema staroj normi)**

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

$$k_{yy} = 0,83 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{1157,97}{0,94 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,92 \leq 0,92$$

$$\Psi = \frac{212,29}{370,70} = 0,57 \text{ (aproksimirana vrijednost dijagrama)}$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,57 = 0,83$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 215300}{936^2} = 50934,42 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12180}{600^2} = 7012,35 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 260,5}{50934,42}} = 0,43$$

$$\text{Za } \bar{\lambda}_y = 0,43 < 1$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 260,5}{7012,35}} = 1,15$$

$$\text{Za } \bar{\lambda}_z = 1,15 > 1$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot n_z}{(C_{mLT} - 0,25)}$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama)**

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

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,83 - 0,25)} \cdot \frac{1157,97}{0,56 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} \right]$$

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

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

$$\frac{1157,97}{0,94 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} + \frac{0,92 \cdot 370,70}{0,99 \cdot \frac{2496,36}{1,0}} = 0,27 < 1$$

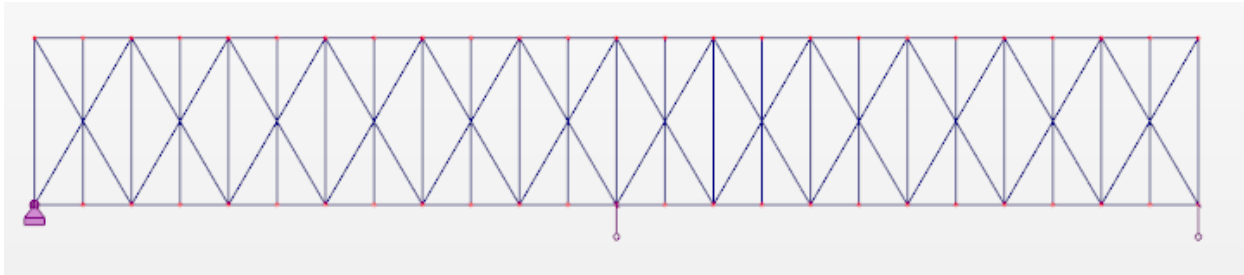
$$\frac{1157,97}{0,56 \cdot \frac{9247,75}{1,0}} + \frac{0,96 \cdot 370,70}{0,99 \cdot \frac{2496,36}{1,0}} = 0,37 < 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost elementa od 37%

**(NAPOMENA: Iako se u praksi teži postići iskoristivost presjeka preko 80%, što u ovom slučaju nije zadovoljeno, dobiveni rezultat možemo opravdati time što se težilo postizanju nepomičnog sustava i korištenju teorije 1. reda u proračunu, a to se može postići ukoliko projektiramo veće poprečne presjeke čime smo, posljedično, dobili manju iskoristivost presjeka. Međutim, kako su za zadani statički sustav uvjeti za GSU bili stroži nego za GSN, za GSU je dobivena veća iskoristivost.)**

## 8 PRORAČUN STABILIZACIJSKIH VEZOVA

### 8.1 Horizontalni poprečni vez



Slika 105.: Statički sustav horizontalne poprečne stabilizacije

#### Analiza opterećenja

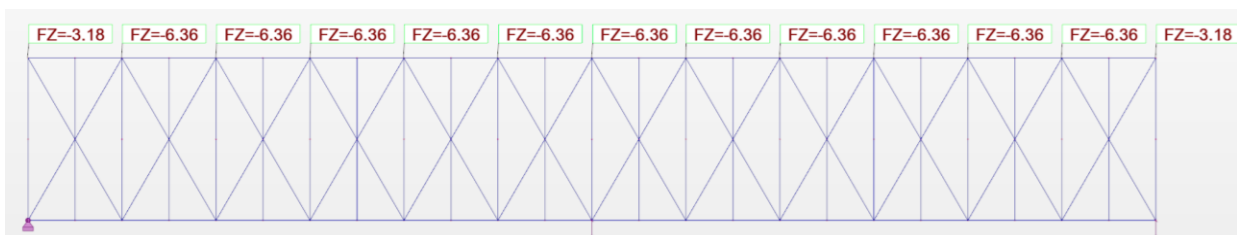
Slučaj opterećenja vjetrom 3. – vjetar puše na zabatnu stranu objekta.

$$w = 0,483 + 0,435 = 0,918 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $W_d$  koju preuzima jedan čvor horizontalnog poprečnog veza (postoje tri horizontalna poprečna veza na hali):

$$F_d = 1,5 \cdot \left[ \left( \frac{12 + 14,585}{2} \cdot \frac{4,167}{2} \right) \cdot \frac{0,918}{3} \right] \cdot \frac{1}{2} = 6,36 \text{ kN}$$

$$W_d = 6,36 \text{ kN}$$



Slika 106.: Opterećenja na HPS

Imperfekcije veza

$$L = 25 \text{ m}$$

$$m = 12$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{12}\right)} = 0,74$$

$$e_0 = \frac{\alpha_m \cdot L}{500} = \frac{0,74 \cdot 25}{500} = 0,037 \text{ m} = 3,7 \text{ cm}$$

$N_{Ed}$  – najveća tlačna sila u gornjem pojasu rešetke:

$$N_{Ed} = 249,92 \text{ kN}$$

Ekvivalentno raspodijeljeno opterećenje:

$$\delta_q = \frac{L}{1500} = \frac{25}{1500} = 0,0167 \text{ m} = 1,67 \text{ cm}$$

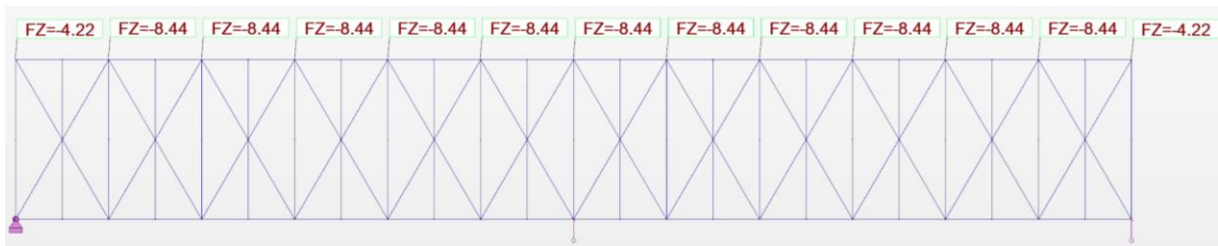
$$q_d = \frac{\Sigma N_{Ed}}{L^2} \cdot 8 \cdot (e_0 + \delta_q) = \frac{12 \cdot 249,92}{25^2} \cdot 8 \cdot (0,037 + 0,0167) = 2,06 \text{ kN/m}$$

Sila na jedan čvor horizontalnog poprečnog sprega od ekvivalentnog opterećenja:

$$P_d = 2,06 \cdot \frac{4,167}{2} = 2,08 \text{ kN}$$

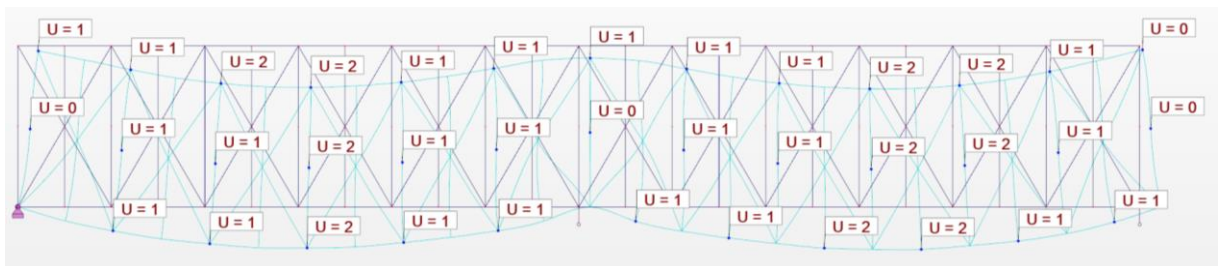
Ukupno opterećenje na horizontalni poprečni vez:

$$Q_d = W_d + P_d = 6,36 + 2,08 = 8,44 \text{ kN}$$



Slika 107.: Opterećenja po čvorovima

Pomaci horizontalnog poprečnog veza za mjerodavno opterećenje i imperfekcije:



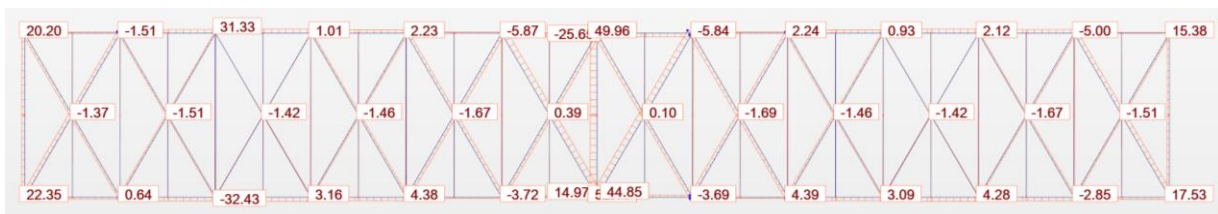
Slika 108.: Progib uslijed opterećenja vjetrom

Najveći progib u ravni sprega:

$$\delta = 0,2 \text{ cm} < \delta_q = \frac{L}{1500} = \frac{25}{1500} = 0,0167 \text{ m} = 1,67 \text{ cm}$$

Progib je manji od pretpostavljenog progiba za imperfekciju.

### 8.1.1 Proračun unutarnjih sila i deformacija



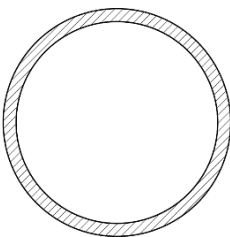
Slika 109.: Dijagram uzdužnih sila

Mjerodavna uzdužna sila u dijagonalama iznosi 45,03 kN

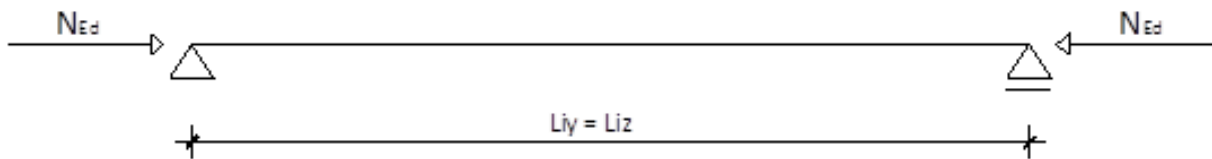


## 8.1.2 Dimenzioniranje dijagonale horizontalnog poprečnog sprega

Tablica 20.: Poprečni presjek dijagonale HPS-a

Ø76,1x3,2			
	promjer presjeka	D(mm)	76,1
	debljina stijenke	t(mm)	3,2
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	7,33
	momenti površine 2. stupnja	I(cm <sup>4</sup> )	48,8
	momenti otpora	W <sub>el</sub> (cm <sup>3</sup> )	12,8
		W <sub>pl</sub> (cm <sup>3</sup> )	17
torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	97,6	

Dijagonala horizontalnog poprečnog veza na tlak:



Slika 110.: Statički sustav dijagonale HPS-a

Odabrano: CHS 76,1x3,2 (toplo dogotovljeni)

kvaliteta čelika S 355

$A = 7,33 \text{ cm}^2$

Poprečni presjek je klase 1

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,33 \cdot 35,5}{1,0} = 260,22 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 260,22 \text{ kN} > N_{Ed} = 45,03 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost presjeka na tlak je 17 %.

Otpornost elementa na izvijanje

$$L_i = 4,13 \text{ m}$$

Kako su duljine izvijanja u oba smjera jednake, a element okruglog poprečnog presjeka, potrebno je provjeriti izvijanje samo oko jedne osi.

-Faktor redukcije za os  $y$ - $y$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 48,8}{413^2} = 59,30 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 8,2}{59,3}} = 2,22$$

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

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,22 - 0,2) + 2,22^2] = 3,17$$

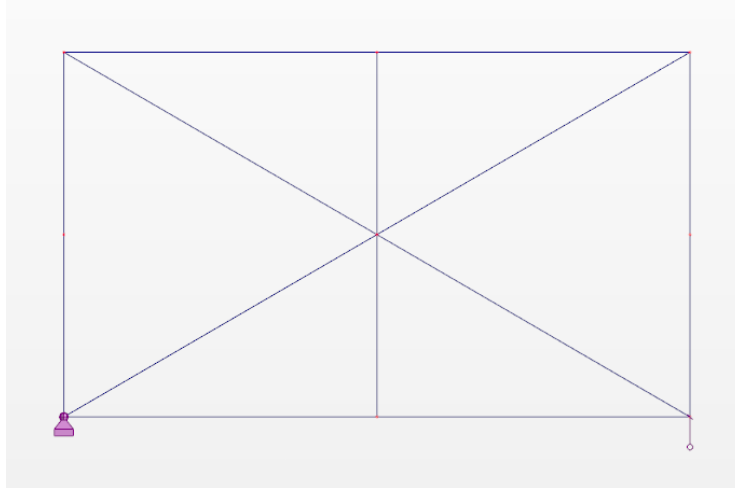
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,17 + \sqrt{3,17^2 - 2,22^2}} = 0,18$$

$$N_{b,y,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,18 \cdot \frac{8,2 \cdot 35,5}{1,0} = 52,40 \text{ kN}$$

$$N_{b,y,Rd} = 52,40 \text{ kN} > N_{Ed} = 45,03 \text{ kN} \quad \text{Zadovoljava!}$$

Iskoristivost elementa na tlak je 86 %.

## 8.2 Horizontalni uzdužni vez



Slika 111.: Statički sustav horizontalne uzdužne stabilizacije

Analiza opterećenja

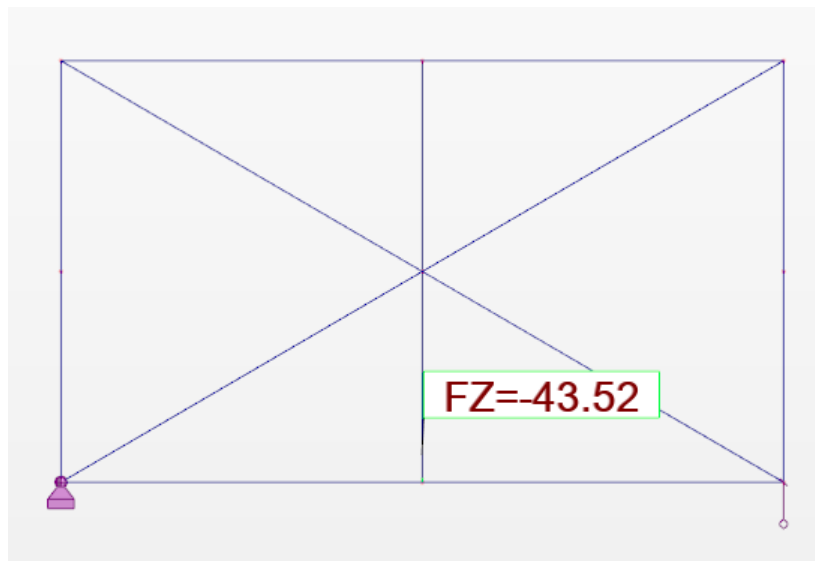
Slučaj opterećenja vjetrom 3. – vjetar puše na poprečnu stranu objekta.

$$w = -0,677 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $W_d$  koju preuzima jedan čvor horizontalnog uzdužnog veza:

$$F_d = -1,5 \cdot (7,143 \cdot 0,677) \cdot 12 \cdot \frac{1}{2} = -43,52 \text{ kN}$$

$$W_d = -43,52 \text{ kN}$$



Slika 112.: Opterećenje vjetrom slučaj 3.

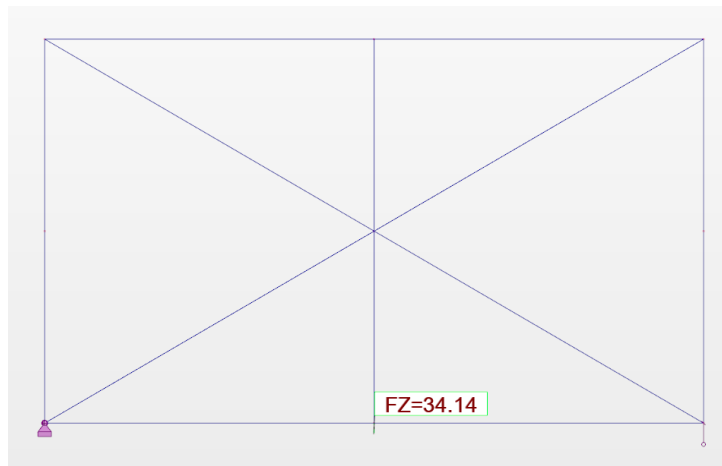
Slučaj opterećenja vjetrom 2. – vjetar puše na uzdužnu stranu objekta.

$$w = 0,531 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $W_d$  koju preuzima jedan čvor horizontalnog uzdužnog veza:

$$F_d = 1,5 \cdot 7,143 \cdot 0,531 \cdot \frac{12}{2} = 34,14 \text{ kN}$$

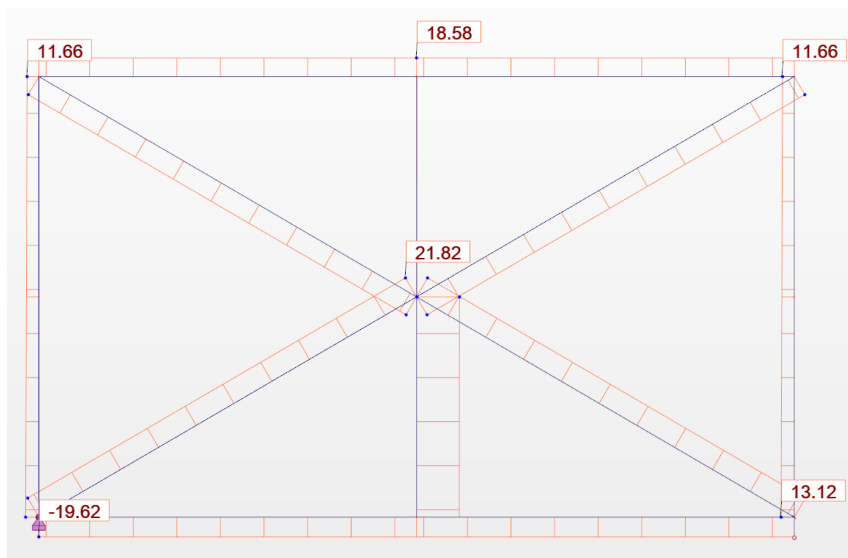
$$W_d = 34,14 \text{ kN}$$



Slika 113.: Opterećenje vjetrom slučaj 2.

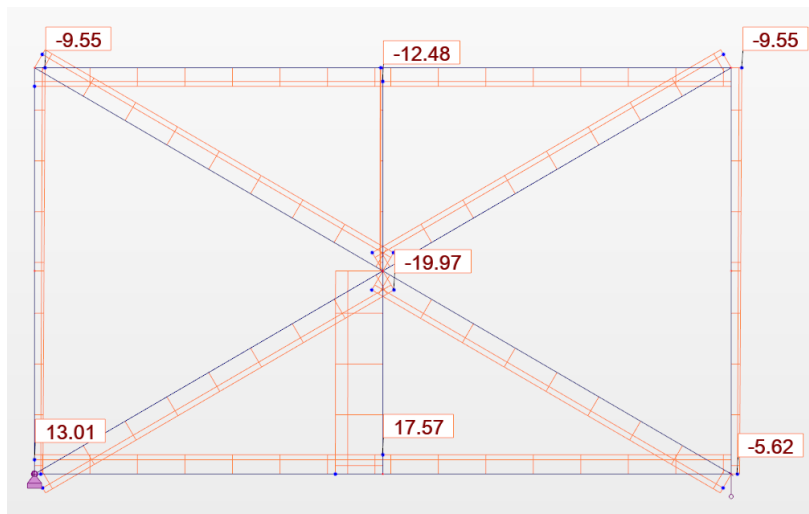
### 8.2.1 Proračun unutarnjih sila i deformacija

Opterećenje vjetrom slučaj 3 – vertikala u vlaku



Slika 114.: Uzdužne sile za opterećenje vjetrom slučaj 3

## Opterećenje vjetrom slučaj 2 – dijagonale u tlaku



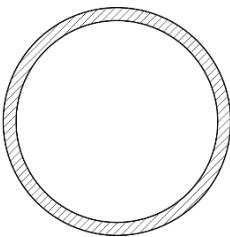
Slika 115.: Uzdužne sile za opterećenje vjetrom slučaj 2

Tablica 21.: Mjerodavne sile za HUS

	DIJAGONALE	VERTIKALE
UZDUŽNA SILA	20,79 kN (vlak)	31,92 kN (tlak)
	21,82 kN (tlak)	42,66 kN (vlak)

## 8.2.2 Dimenzioniranje dijagonale horizontalne uzdužne stabilizacije

Tablica 22.: Poprečni presjek dijagonale HUS-a

Ø70x4			
	promjer presjeka	D(mm)	70
	debljina stijenke	t(mm)	4
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	8,29
	momenti površine 2. stupnja	I(cm <sup>4</sup> )	45,3
	momenti otpora	W <sub>el</sub> (cm <sup>3</sup> )	13
		W <sub>pl</sub> (cm <sup>3</sup> )	17,4
torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	90,7	

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{8,29 \cdot 35,5}{1,00} = 294,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 21,82 \text{ kN}$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivošću 7,4%.

Otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{8,29 \cdot 35,5}{1,00} = 294,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 20,79 \text{ kN}$$

Poprečni presjek zadovoljava s iskoristivošću 7%.

Otpornost elementa na izvijanje

$$L_{cr} = 4,135 \text{ m}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{i,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45,3}{413,5^2} = 54,91 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,29 \cdot 35,5}{54,91}} = 2,32$$

→mjerodavna kivolja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,21$

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,32 - 0,2) + 2,32^2] = 3,41$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_{y,z} + \sqrt{\Phi_{y,z}^2 - \bar{\lambda}_{y,z}^2}} = \frac{1}{3,41 + \sqrt{3,41^2 - 2,32^2}} = 0,17$$

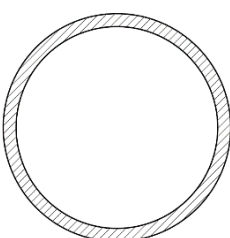
$$N_{b,y,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,17 \cdot \frac{8,29 \cdot 35,5}{1,0} = 50,03 \text{ kN}$$

$$N_{b,y,Rd} = 50,03 \text{ kN} > N_{Ed} = 21,82 \text{ kN}$$

Element zadovoljava s iskoristivošću 44%.

### 8.2.3 Dimenzioniranje vertikalne horizontalne uzdužne stabilizacije

Tablica 23.: Poprečni presjek vertikalne HUS-a

Ø70x4			
	promjer presjeka	D(mm)	70
	debljina stijenke	t(mm)	4
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	8,29
	momenti površine 2. stupnja	I(cm <sup>4</sup> )	45,3
	momenti otpora	W <sub>el</sub> (cm <sup>3</sup> )	13
		W <sub>pl</sub> (cm <sup>3</sup> )	17,4
	torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	90,7

Otpornost poprečnog presjeka na tlačnu silu

$$N_{Ed} = 31,92 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,29 \cdot 35,5}{1,00} = 294,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 31,92 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava s iskoristivošću 10,8%.



Otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu

$$N_{Ed} = 42,66 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{8,29 \cdot 35,5}{1,00} = 294,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 42,66 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava s iskoristivošću 14,5%.

Otpornost elementa na izvijanje

$$L_{cr} = 2,083 \text{ m}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{i,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 45,3}{208,3^2} = 216,39 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y,z}}} = \sqrt{\frac{8,29 \cdot 35,5}{216,39}} = 1,17$$

→mjerodavna kivolja izvijanja  $a \rightarrow \alpha = 0,21$

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,17 - 0,2) + 1,17^2] = 1,29$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_{y,z} + \sqrt{\Phi_{y,z}^2 - \bar{\lambda}_{y,z}^2}} = \frac{1}{1,29 + \sqrt{1,29^2 - 1,17^2}} = 0,55$$

$$N_{b,y,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,55 \cdot \frac{8,29 \cdot 35,5}{1,0} = 161,86 \text{ kN}$$

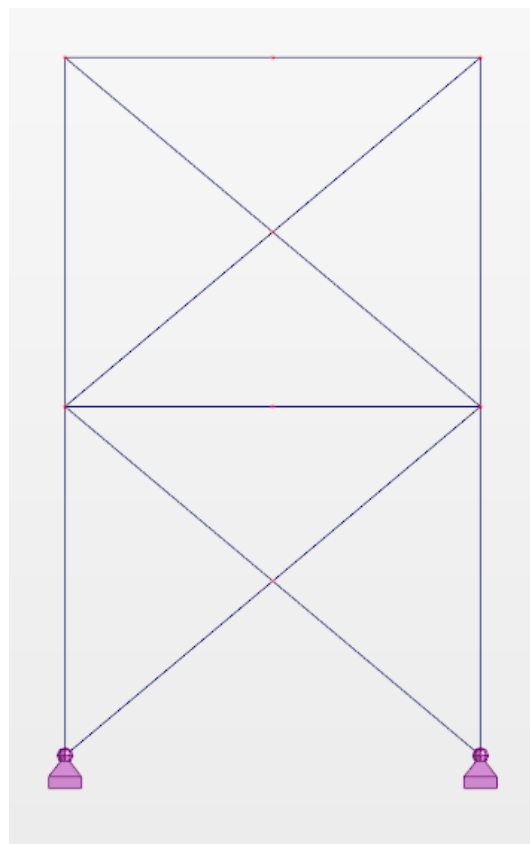
$$N_{b,y,Rd} = 161,86 \text{ kN} > N_{Ed} = 31,92 \text{ kN}$$

Element zadovoljava s iskoristivošću 20%.

### 8.3 Vertikalni uzdužni vez

Analiza opterećenja

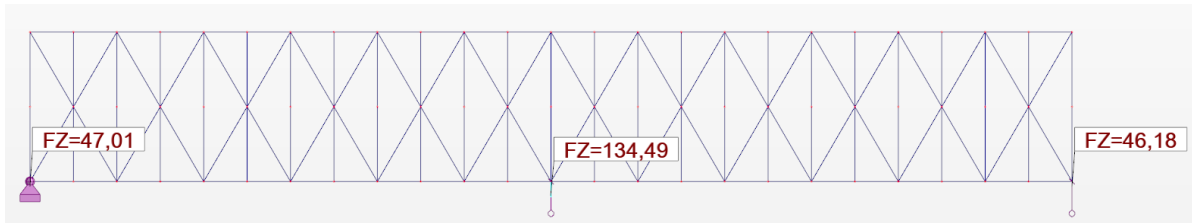
Odabran je vez sa vlačno-tlačnim dijagonalama



Slika 116.: Statički sustav VUS-a

## Opterećenje vjetrom

Sila  $H_d$  dobivena je kao reakcija horizontalne poprečne stabilizacije pomnožena s brojem HPS-a.



Slika 117.: Reakcije HPS-a

$$H_d = 3 \cdot 134,49 = 403,47 \text{ kN}$$

## Utjecaj imperfekcija

$$\emptyset = \emptyset_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\emptyset_0 = \frac{1}{200}$$

$\alpha_h = 1$  za spojene tlačne elemente (NAPOMENA: dodano u novoj normi)

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{7}\right)} = 0,756$$

$$\emptyset = \emptyset_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 1 \cdot 0,756 = 0,00378$$

$h$  – visina konstrukcije u metrima

$m$  – broj elemenata koje treba pridržati ( $m=7$ )

Maksimalna tlačna sila u glavnom stupu  $N_{Ed}$  dobije se iz razmatranja glavnog nosivog okvira, a iznosi 1157,97 kN.

Ukupni utjecaj od imperfekcije iznosi:

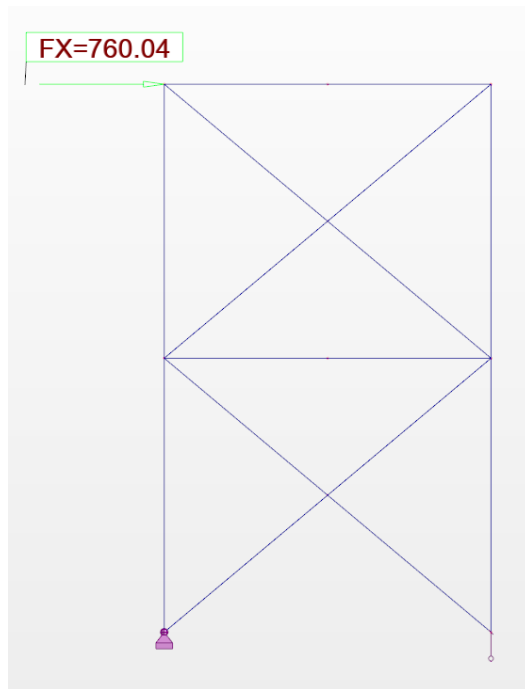
$$\Delta H_d = \phi \cdot \gamma \cdot N_{Ed} = 0,00378 \cdot 7 \cdot 1157,97 = 17,75 \text{ kN}$$

Ukupna horizontalna sila dobivena je kao zbroj reakcije horizontalnog poprečnog veza, opterećenja od imperfekcije i horizontalne uzdužne sile od krana uslijed kočenja  $H_{L,1} = 6,74$  kN:

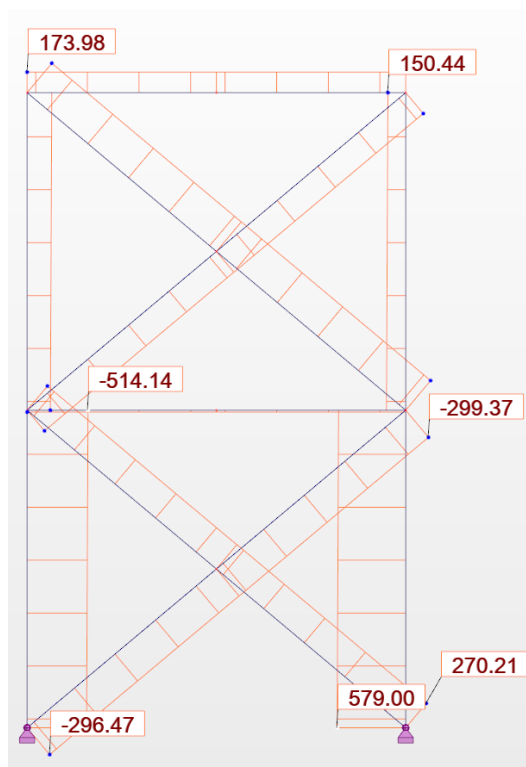
$$\Sigma H_d = H_d + \Delta H_d + H_{L,1} = 403,47 + 20,19 + 6,74 = 430,4 \text{ kN}$$

### 8.3.1 Proračun unutarnjih sila i deformacija

Model rešetke sastoji se od stupova HEA 700, podrožnice IPE 200 (dimenzionirani u prijašnjim točkama) te od vlačno-tlačne ispune i horizontalne prečke na pola visine stupa.



Slika 118.: Mjerodavno horizontalno opterećenje



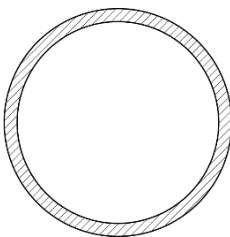
Slika 119.: Uzdužne sile VUS-a

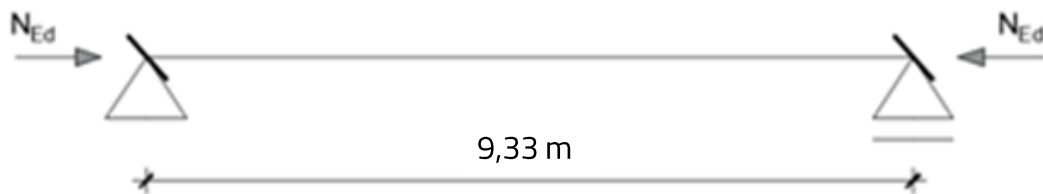
Najveća vlačna sila u dijagonali iznosi 299,37 kN.

Najveća tlačna sila u dijagonali iznosi 327,45 kN

## 8.3.2 Dimenzioniranje dijagonale vertikalnog uzdužnog veza

Tablica 24.: Poprečni presjek dijagonale VUS-a

Ø193,7x6,3			
	promjer presjeka	D(mm)	193,7
	debljina stijenke	t(mm)	6,3
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	37,1
	momenti površine 2. stupnja	I(cm <sup>4</sup> )	1630
	momenti otpora	W <sub>el</sub> (cm <sup>3</sup> )	168
		W <sub>pl</sub> (cm <sup>3</sup> )	221
	torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	3260



Slika 120.: Statički sustav dijagonale VUS-a

Odabrano: CHS 193,7 x 6,3

$A = 37,1 \text{ cm}^2$

$I = 1630 \text{ cm}^4$

Kvaliteta čelika: S355

Klasa poprečnog presjeka 1

**Otpornost elementa na tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{37,1 \cdot 35,5}{1,0} = 1317,05 \text{ kN} > N_{Ed} = 327,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{327,45}{1317,05} = 0,25 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost poprečnog presjeka od 25%.

**Otpornost elementa na vlak**

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{37,1 \cdot 35,5}{1,0} = 1317,05 \text{ kN} > N_{Ed} = 299,37 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{299,37}{1317,05} = 0,227 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost poprečnog presjeka od 22,7%.

Otpornost elementa na izvijanje:

Linija izvijanja a →  $\alpha = 0,21$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1630}{933^2} = 388,1 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{37,1 \cdot 35,5}{388,1}} = 1,84$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,21 \cdot (1,84 - 0,2) + 1,84^2 \right] = 2,36$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,36 + \sqrt{2,36^2 - 1,84^2}} = 0,26$$

$$N_{b,y,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,26 \cdot \frac{37,1 \cdot 35,5}{1,0} = 342,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{327,45}{342,43} = 0,93 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost poprečnog presjeka od 96%.



## 9 PRORAČUN SEKUNDARNIH STUPOVA

### 9.1 Analiza opterećenja i proračun unutarnjih sila – stup na zabatnoj stijeni

Statički sustav



Slika 121.: Statički sustav sekundarnog stupa

#### 9.1.1 Analiza opterećenja

Opterećenje na sekundarni uzdužni stup:

Stalno opterećenje:

- vlastita težina stupa (IPE 360)  $0,56 \cdot 13,47 = 7,54 \text{ kN}$
- prečka zabata  $0,079 \cdot 4,167 = 0,33 \text{ kN}$
- vertikalna obloga  $0,3 \cdot 4,167 \cdot 13,47 = 16,84 \text{ kN}$

$$G_k = 24,71 \text{ kN}$$

Opterećenje vjetrom:

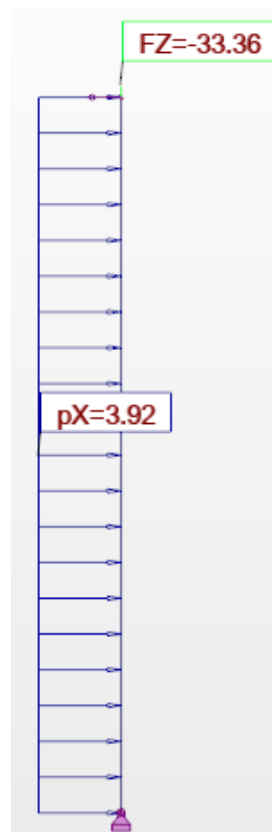
- slučaj 4:  $0,626 \cdot 4,167 = \dots \dots \dots w_k = 2,61 \text{ kN/m}$

Dijagrami unutarnjih sila za krajnje granično stanje:

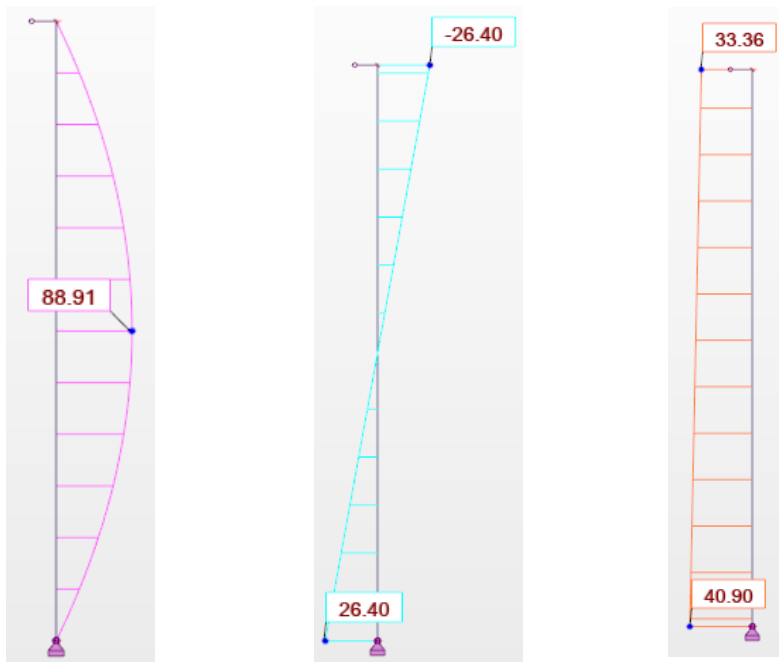
Vlastita težina  $\cdot 1,35 + \text{Vjetar} \cdot 1,5$

$G_d = 1,35 \cdot 24,71 = 33,36 \text{ kN}$

$W_d = 1,5 \cdot 2,61 = 3,92 \text{ kN/m}$



Slika 122.: Opterećenje na sekundarni stup



Slika 123.: Dijagrami unutarnjih sila i momenata za pripadno opterećenje

Najveće vrijednosti reznih sila:

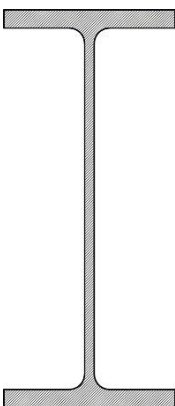
$$N_{Ed} = 40,90 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 88,91 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 26,40 \text{ kN}$$

## 9.1.2 Dimenzioniranje

Tablica 25.: Poprečni presjek sekundarnog stupa

IPE 360			
	visina presjeka	$h$ (mm)	360
	Širina presjeka	$b$ (mm)	170
	debljina pojasnice	$t_f$ (mm)	12,7
	debljina hrpta	$t_w$ (mm)	8,0
	površina presjeka	$A$ (cm <sup>2</sup> )	72,73
	momenti površine 2. stupnja	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	16270
		$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	1043
	momenti otpora	$W_{el,y}$ (cm <sup>3</sup> )	903,6
		$W_{el,z}$ (cm <sup>3</sup> )	112,8
		$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )	1019
		$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )	191,1
torzijska konstanta	$I_t$ (cm <sup>4</sup> )	37,32	
konstanta krivljenja	$I_w$ (cm <sup>3</sup> )	$313,6 \cdot 10^3$	

Odabrano: IPE 360

Kvaliteta čelika 355

$$A = 72,73 \text{ cm}^2$$

$$h = 360 \text{ mm}$$

$$b = 170 \text{ mm}$$

→ Poprečni presjek svrstan je u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72,73 \cdot 35,5}{1,0} = 2581,92 \text{ kN} > N_{Ed} = 40,96 \text{ kN}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlačnu silu je 1,6%.

Otpornost poprečnog presjeka na moment savijanja

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \cdot 35,5}{1,0} = 36174,5 \text{ kNcm} = 361,75 \text{ kNm} > M_{Ed} = 88,91 \text{ kNm}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka na savijanje je 24,6%.

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 360 - 2 \cdot 12,7 = 334,6 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{334,6}{12,7} = 26,35 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 72,73 - 2 \cdot 17 \cdot 1,27 + (0,8 + 2 \cdot 1,8) \cdot 1,27 = 35,14 \text{ cm}^2$$

$$35,14 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 33,46 \cdot 0,8 = 32,12 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{35,14 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 720,23 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{26,40}{720,23} = 0,037 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka na poprečnu silu je 3,7%.

Otpornost elementa na izvijanje

Efektivne duljine izvijanja:

$$L_{i,y} = k \cdot L = 1 \cdot 1347 = 1347 \text{ cm}$$

$$L_{i,z} = 747 \text{ cm}$$

Određivanje otpornosti elementa na izvijanje:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{i,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 16270}{1347^2} = 1858,54 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{i,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043}{747^2} = 387,40 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{72,73 \cdot 35,5}{1858,54}} = 1,18$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{72,73 \cdot 35,5}{387,40}} = 2,58$$

$$h/b = 360/170 = 2,12 > 1,2$$

- linija izvijanja a za y-y → faktor imperfekcije  $\alpha = 0,21$

- linija izvijanja b za z-z → faktor imperfekcije  $\alpha = 0,34$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,18 - 0,2) + 1,18^2] = 1,30$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,58 - 0,2) + 2,58^2] = 4,23$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,30 + \sqrt{1,30^2 - 1,18^2}} = 0,54$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{4,23 + \sqrt{4,23^2 - 2,58^2}} = 0,13$$

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \cdot \frac{N_{c,Rd}}{\gamma_{M1}} = 0,13 \cdot \frac{2581,92}{1,0} = 335,65 \text{ kN} > 40,96 \text{ kN}$$

Na savijanje:

Faktori  $C_1$  i  $C_2$

$$\psi = 0;$$

$$\mu = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot M} = 0,99$$

$$\text{Očitano: } C_1 = 1,127$$

$$C_2 = 0,454$$

Određivanje  $M_{cr}$ :

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

**(NAPOMENA: dani izraz nije prikazan u normama pa će se koristiti izraz iz tehničkog dodatka)**

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 747 \text{ cm}$$

$$I_t = 37,32 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 313600 \text{ cm}^6$$

$$I_z = 1043 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$



$$z_g = h/2 = 360/2 = 180 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043}{747^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{313,6 \cdot 10^3}{1043} + \frac{747^2 \cdot 8100 \cdot 37,32}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043}} + (0,454 \cdot 18)^2 - 0,454 \cdot 18 \right]$$

$$= 112,23 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019 \cdot 35,5}{11223}} = 1,80$$

Faktor redukcije

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

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + f_M \left( \left( \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0,2) \right) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,12 > 1,2$$

$$t_f \leq 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_{LT} = 0,12 \cdot \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}} = 0,28 \text{ ali } \alpha_{LT} \leq 0,34$$

Mjerodavna je krivulja izvijanja a  $\rightarrow \alpha_{LT} = 0,28$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + 1,05 \left( \left( \left( \frac{1,8}{2,58} \right)^2 \cdot 0,28 \cdot (2,58 - 0,2) \right) + 1,8^2 \right) \right] = 2,28$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + (\alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) \right]$ )**

$$f_M = 1,05$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{2,28 + \sqrt{2,28^2 - 1,80^2}} = 0,272$$

Računska otpornost

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,272 \cdot \frac{1019 \cdot 35,5}{1,0} = 10490,61 \text{ kNcm}$$

$$M_{b,Rd} = 104,91 \text{ kNm} > M_{Ed} = 88,91 \text{ kNm}$$

Element zadovoljava na savijanje. Iskoristivost elementa je 85%.

Interakcija M-N

(NAPOMENA: U starim normama je predviđena uporaba dvije metode za određivanje interakcijskih izraza, Metoda 1 i Metoda 2. U novoj normi nema takve podjele. Za provjeru interakcije postoji alternativna metoda dana u tehničkoj specifikaciji [22], ali će se koristiti izrazi dani u novoj normi [14].)

Određivanje interakcijskih faktora  $k_{ij}$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{yy} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rky}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

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

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

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot n_y)$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

(NAPOMENA: prema starim normama

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,95 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{40,96}{0,54 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} \right]$$

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

$$\Psi = 0$$

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

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot n_z}{(C_{mLT} - 0,25)}$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama**

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

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{40,96}{0,13 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} \right]$$

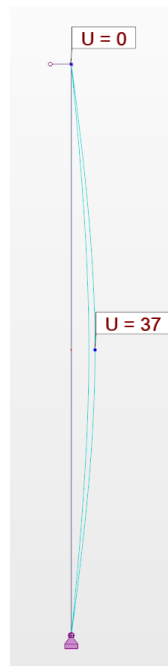
$$k_{zy} = 0,98$$

$$\frac{40,96}{0,54 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} + \frac{0,97 \cdot 88,91}{0,272 \cdot \frac{361,75}{1,0}} = 0,91 < 1$$

$$\frac{40,96}{0,13 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} + \frac{0,98 \cdot 88,91}{0,272 \cdot \frac{361,75}{1,0}} = 0,99 < 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost presjeka od 99%.

### 9.1.3 Kontrola progiba (GSU)



Slika 124.: Progib sekundarnog nosača

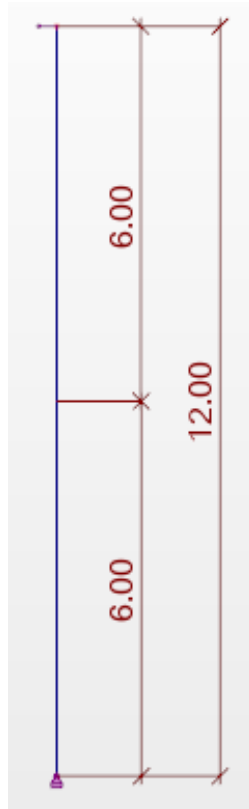
Kriterij progiba:

$$\delta_{h,max} < \frac{L}{300}$$

$$37 \text{ mm} < \frac{12000}{300} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

## 9.2 Analiza opterećenja i proračun unutarnjih sila – stup na uzdužnoj stijeni

### Statički sustav



Slika 125.: Statički sustav sekundarnog stupa

### 9.2.1 Analiza opterećenja

Opterećenje na sekundarni uzdužni stup:

Stalno opterećenje:

- vlastita težina stupa (IPE 360)  $0,56 \cdot 12 = 6,72 \text{ kN}$
  - prečka zabata  $0,079 \cdot 3,571 = 0,28 \text{ kN}$
  - vertikalna obloga  $0,3 \cdot 3,571 \cdot 12 = 12,86 \text{ kN}$
- $G_k = 19,86 \text{ kN}$

Opterećenje vjetrom:

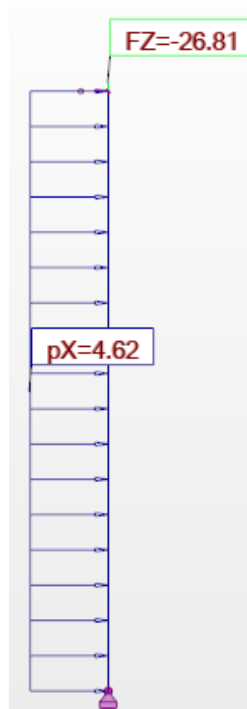
- slučaj 4:  $0,875 \cdot 3,571 = \dots \dots \dots w_k = 3,12 \text{ kN/m}$

Dijagrami unutarnjih sila za krajnje granično stanje:

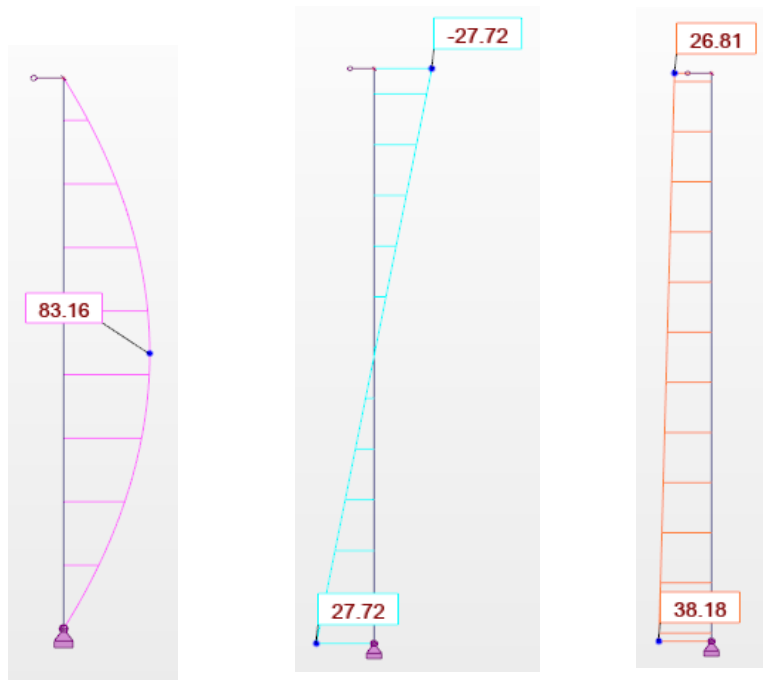
Vlastita težina  $\cdot 1,35 + \text{Vjetar} \cdot 1,5$

$G_d = 1,35 \cdot 19,86 = 26,81 \text{ kN}$

$W_d = 1,5 \cdot 3,12 = 4,68 \text{ kN/m}$



Slika 126.: Opterećenje na sekundarni stup



Slika 127.: Dijagrami unutarnjih sila i momenata za pripadno opterećenje

Najveće vrijednosti reznih sila:

$$N_{Ed} = 38,18 \text{ kN}$$

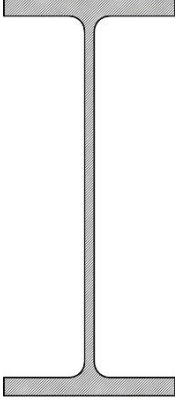
$$M_{Ed} = 83,16 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 27,72 \text{ kN}$$



## 9.2.2 Dimenzioniranje

Tablica 26.: Poprečni presjek sekundarnog stupa

IPE 360			
	visina presjeka	h(mm)	360
	Širina presjeka	b(mm)	170
	debljina pojasnice	t <sub>f</sub> (mm)	12,7
	debljina hrpta	t <sub>w</sub> (mm)	8,0
	površina presjeka	A (cm <sup>2</sup> )	72,73
	momenti površine 2. stupnja	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	16270
		I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	1043
	momenti otpora	W <sub>el,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	903,6
		W <sub>el,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	112,8
		W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	1019
		W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	191,1
torzijska konstanta	I <sub>t</sub> (cm <sup>4</sup> )	37,32	
konstanta krivljenja	I <sub>w</sub> (cm <sup>3</sup> )	313,6*10 <sup>3</sup>	

Odabrano: IPE 360

Kvaliteta čelika 355

$$A = 72,73 \text{ cm}^2$$

$$h = 360 \text{ mm}$$

$$b = 170 \text{ mm}$$

→ Poprečni presjek svrstan je u klasu 1.

Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72,73 \cdot 35,5}{1,0} = 2581,92 \text{ kN} > N_{Ed} = 38,18 \text{ kN}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlačnu silu je 1,5%.

Otpornost poprečnog presjeka na moment savijanja

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \cdot 35,5}{1,0} = 36174,5 \text{ kNcm} = 361,75 \text{ kNm} > M_{Ed} = 83,16 \text{ kNm}$$

Iskoristivost poprečnog presjeka na savijanje je 22,9%.

Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 360 - 2 \cdot 12,7 = 334,6 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,20$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{334,6}{12,7} = 26,35 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost:

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

Posmična površina  $A_{v,z}$ :

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

$$A_{v,z} = 72,73 - 2 \cdot 17 \cdot 1,27 + (0,8 + 2 \cdot 1,8) \cdot 1,27 = 35,14 \text{ cm}^2$$

$$35,14 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 33,46 \cdot 0,8 = 32,12 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{35,14 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 720,23 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Ed}} \leq 1,0$$

$$\frac{27,72}{720,23} = 0,038 < 1,0$$

Iskoristivost poprečnog presjeka na poprečnu silu je 3,8%.

Otpornost elementa na izvijanje

Efektivne duljine izvijanja:

$$L_{i,y} = k \cdot L = 1 \cdot 1200 = 1200 \text{ cm}$$

$$L_{i,z} = 600 \text{ cm}$$

Određivanje otpornosti elementa na izvijanje:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{i,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 16270}{1200^2} = 2341,77 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{i,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043}{600^2} = 600,48 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{72,73 \cdot 35,5}{2341,77}} = 1,05$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{72,73 \cdot 35,5}{600,48}} = 2,07$$

$$h/b = 360/170 = 2,12 > 1,2$$

- linija izvijanja a za y-y → faktor imperfekcije  $\alpha = 0,21$

- linija izvijanja b za z-z → faktor imperfekcije  $\alpha = 0,34$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,05 - 0,2) + 1,05^2] = 1,14$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,07 - 0,2) + 2,07^2] = 2,84$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,14 + \sqrt{1,14^2 - 1,05^2}} = 0,63$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,84 + \sqrt{2,84^2 - 2,07^2}} = 0,21$$

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \cdot \frac{N_{c,Rd}}{\gamma_{M1}} = 0,21 \cdot \frac{2581,92}{1,0} = 542,20 \text{ kN} > 38,18 \text{ kN}$$

Na savijanje:

Faktori  $C_1$  i  $C_2$

$$\psi = 0;$$

$$\mu = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot M} = 1,00$$

$$\text{Očitano: } C_1 = 1,127$$

$$C_2 = 0,454$$

Određivanje  $M_{cr}$ :

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

**(NAPOMENA: dani izraz nije prikazan u normama pa će se koristiti izraz iz tehničkog dodatka)**

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 747 \text{ cm}$$

$$I_t = 37,32 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 313600 \text{ cm}^6$$

$$I_z = 1043 \text{ cm}^4$$

$$G = 81000 \text{ N/mm}^2$$

$$z_g = h/2 = 360/2 = 180 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043}{600^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{313,6 \cdot 10^3}{1043} + \frac{600^2 \cdot 8100 \cdot 37,32}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1043} + (0,454 \cdot 18)^2} - 0,454 \cdot 18 \right]$$

$$= 144,41 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019 \cdot 35,5}{14441}} = 1,58$$

Faktor redukcije

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

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + f_M \left( \left( \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0,2) \right) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

**(NAPOMENA: prema starim normama  $\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \left( \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right]$ )**

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,12 > 1,2$$

$$t_f \leq 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_{LT} = 0,12 \cdot \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}} = 0,28 \text{ ali } \alpha_{LT} \leq 0,34$$

$$f_M = 1,05$$

Mjerodavna je krivulja izvijanja a  $\rightarrow \alpha_{LT} = 0,28$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + 1,05 \left( \left( \left( \frac{1,58}{2,07} \right)^2 \cdot 0,28 \cdot (2,07 - 0,2) \right) + 1,58^2 \right) \right] = 1,90$$

**(NAPOMENA: u nastavku će se koristiti modificirana metoda proračuna bočno-torzijskog izvijanja, opći postupci isti i prema staroj i novoj normi)**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,90 + \sqrt{1,90^2 - 1,58^2}} = 0,36$$

Računska otpornost

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,36 \cdot \frac{1019 \cdot 35,5}{1,0} = 13022,82 \text{ kNcm}$$

$$M_{b,Rd} = 130,23 \text{ kNm} > M_{Ed} = 83,16 \text{ kNm}$$

Element zadovoljava na savijanje. Iskoristivost elementa je 64%.

Interakcija M-N

**(NAPOMENA: U starim normama je predviđena uporaba dvije metode za određivanje interakcijskih izraza, Metoda 1 i Metoda 2. U novoj normi nema takve podjele. Za provjeru interakcije postoji alternativna metoda dana u tehničkoj specifikaciji [22], ali će se koristiti izrazi dani u novoj normi [14].)**

Određivanje interakcijskih faktora  $k_{ij}$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{yy} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rky}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

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

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

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot n_y)$$

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama**

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,95 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{38,18}{0,63 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} \right]$$

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

$$\Psi = 0$$

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



$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot n_z}{(C_{mLT} - 0,25)}$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

**(NAPOMENA: prema starim normama**

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

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{38,18}{0,21 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} \right]$$

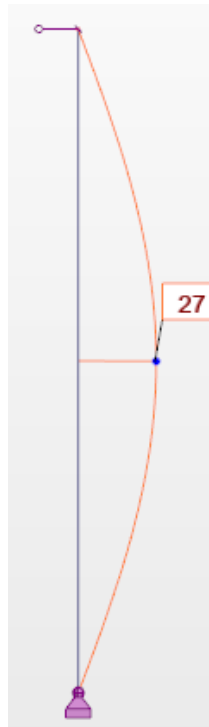
$$k_{zy} = 0,99$$

$$\frac{38,18}{0,63 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} + \frac{0,97 \cdot 83,16}{0,36 \cdot \frac{361,75}{1,0}} = 0,64 < 1$$

$$\frac{38,18}{0,21 \cdot \frac{2581,92}{1,0}} + \frac{0,99 \cdot 83,16}{0,36 \cdot \frac{361,75}{1,0}} = 0,70 < 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost presjeka od 70%.

### 9.2.3 Kontrola progiba (GSU)



Slika 128.: Progib sekundarnog stupa

Kriterij progiba:

$$\delta_{h,\max} < \frac{L}{300}$$

$$27 \text{ mm} < \frac{12000}{300} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

## 10 ANALIZA KONSTRUKCIJE NA POTRESNO DJELOVANJE

### 10.1 Općenito

Potres na konstrukciju djeluje dinamički i prostorno. Odgovor konstrukcije ovisi o masi, krutosti, prigušenju konstrukcije, tlu i potresnom djelovanju. Norma [9] dopušta nekoliko metoda proračuna. Najčešće korištene su metoda bočnih sila i višemodalna spektralna analiza. Spektralna analiza je metoda kojom se određuje vršni odgovor konstrukcije na potresnu pobudu u ovisnosti o periodu konstrukcije i vrsti tla. Modalna analiza postupak je kojim se određuju različiti oblici vibriranja konstrukcije. Za višemodalnu spektralnu analizu, modalna analiza je prvi korak kojim se određuju periodi, a zatim se pomoću spektralne analize određuje ukupno djelovanje. U ovom radu koristit će se višemodalna spektralna analiza u računalnom programu *Robot Structural Analysis 2023*.

### 10.2 Osnovni podaci

Kategorija tla: C

Faktor važnosti:  $\gamma_1 = 1,0$

Tip spektra: Spektar 1

Ubrzanje tla za zadanu lokaciju:  $a_g = 0,3g$

### 10.3 Modalna analiza

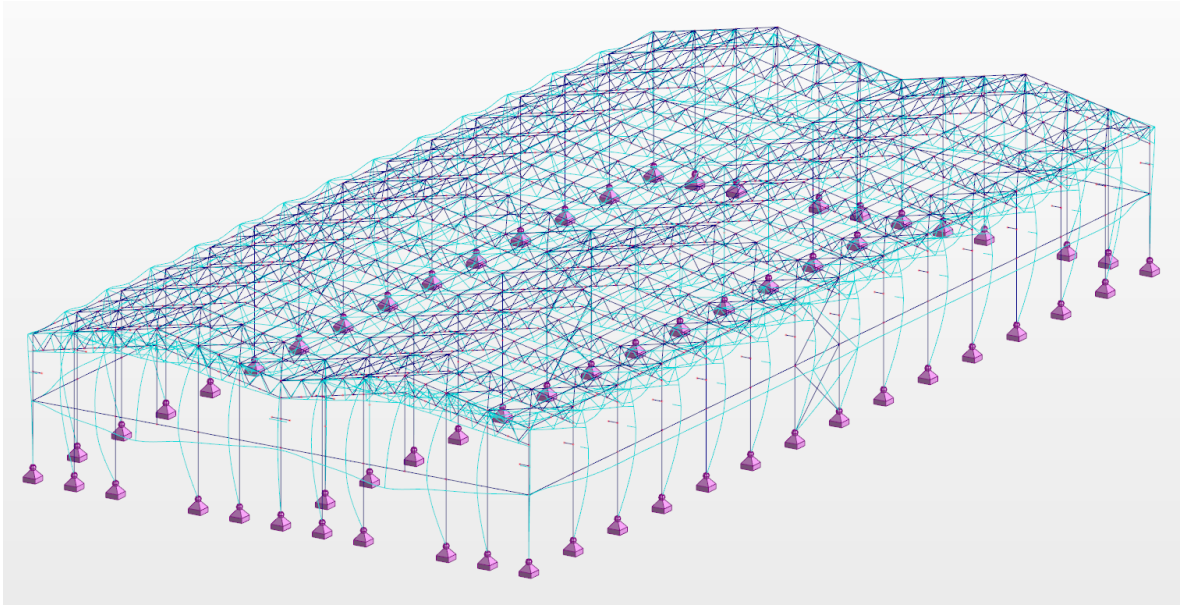
Provodi se modalna analiza u programu *Robot Structural Analysis 2023*, i dobiveni su rezultati dani u tablici 27.

Tablica 27.: Rezultati modalne analize

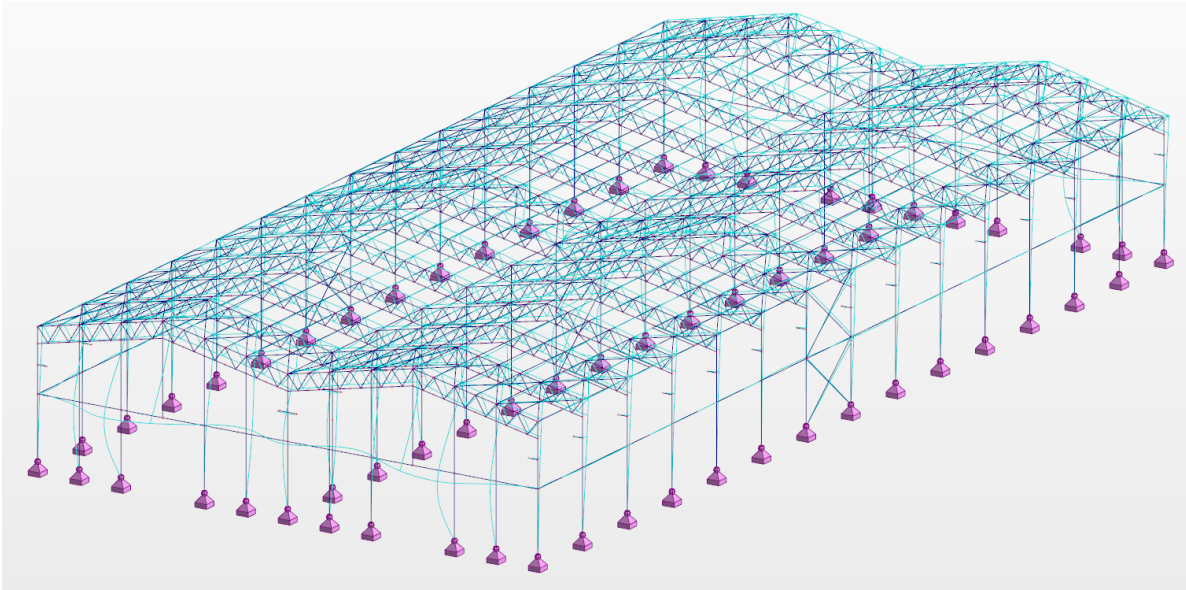
Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Cur.mas.UX (%)	Cur.mas.UY (%)	Cur.mas.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)
6/ 1	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 2	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 3	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 4	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 5	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 6	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 7	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 8	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 9	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 10	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 11	0,30	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 12	0,38	2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 13	0,38	2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 14	0,39	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 15	0,40	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 16	0,48	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 17	0,48	2,06	0,00	0,42	0,00	0,00	0,42	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 18	0,49	2,06	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 19	0,49	2,06	0,00	0,44	0,00	0,00	0,02	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 20	0,49	2,05	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 21	0,49	2,04	0,00	39,90	0,00	0,00	39,47	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 22	0,49	2,04	0,00	39,90	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 23	0,49	2,04	0,00	39,95	0,00	0,00	0,05	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 24	0,49	2,03	0,00	40,66	0,00	0,00	0,71	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 25	0,49	2,03	0,00	41,36	0,00	0,00	0,71	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 26	0,50	2,00	0,00	41,36	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 27	0,50	2,00	0,00	41,66	0,00	0,00	0,29	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 28	0,50	1,99	0,00	41,66	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 29	0,50	1,99	0,00	41,66	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 30	0,50	1,98	0,00	41,67	0,00	0,00	0,02	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 31	0,50	1,98	0,00	41,78	0,00	0,00	0,11	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 32	0,51	1,98	0,01	41,78	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 33	0,51	1,98	0,01	41,84	0,00	0,00	0,06	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 34	0,51	1,97	0,01	41,84	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 35	0,51	1,97	0,01	41,85	0,00	0,00	0,01	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 36	0,51	1,96	0,01	41,85	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 37	0,51	1,96	0,01	41,86	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 38	0,51	1,95	0,01	41,86	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 39	0,51	1,95	0,01	42,16	0,00	0,00	0,30	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 40	0,51	1,95	0,01	42,16	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0

Tablica 28.: Rezultati modalne analize

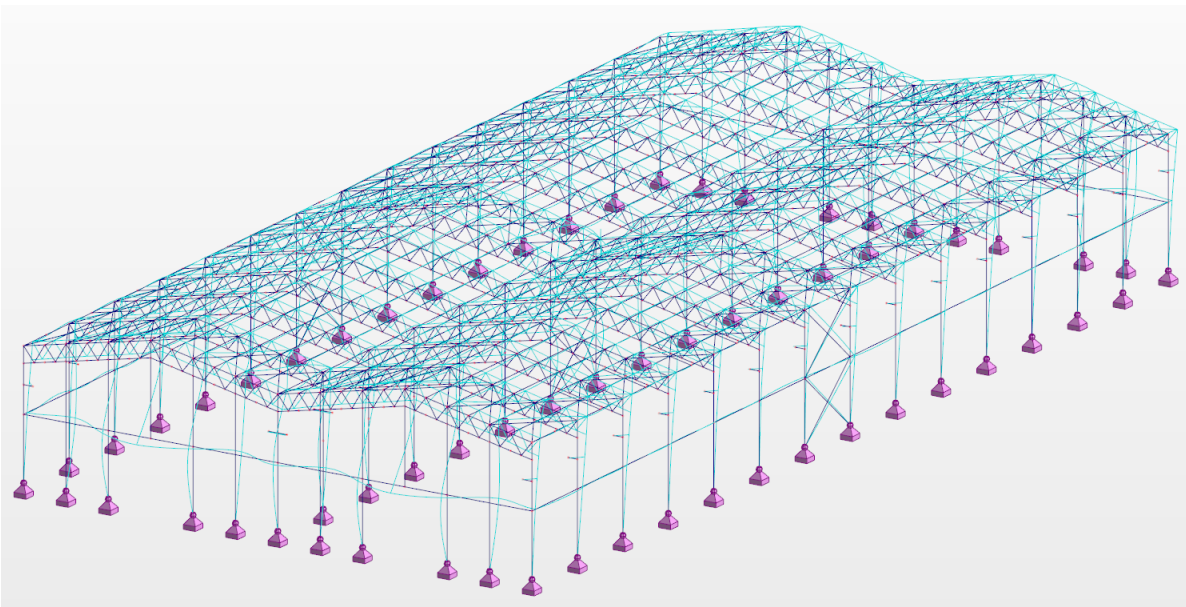
6/ 40	0,51	1,95	0,01	42,16	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 41	0,51	1,95	0,01	42,18	0,00	0,00	0,03	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 42	0,54	1,86	0,01	42,19	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 43	0,54	1,86	0,01	44,84	0,00	0,00	2,65	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 44	0,54	1,86	0,01	44,84	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 45	0,54	1,86	0,01	44,84	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 46	0,56	1,78	90,88	44,84	0,00	90,87	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 47	0,62	1,61	91,08	44,84	0,00	0,20	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 48	0,64	1,55	91,08	76,10	0,00	0,00	31,26	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 49	0,67	1,49	91,08	76,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 50	0,68	1,47	91,08	79,35	0,00	0,00	3,25	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 51	0,69	1,46	91,08	79,49	0,00	0,00	0,14	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 52	0,69	1,45	91,08	80,24	0,00	0,00	0,75	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 53	0,69	1,44	99,22	80,24	0,00	8,14	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 54	0,70	1,42	99,22	80,59	0,00	0,00	0,35	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 55	0,71	1,41	99,22	80,66	0,00	0,00	0,07	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 56	0,72	1,39	99,22	80,70	0,00	0,00	0,05	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 57	0,73	1,38	99,22	80,70	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 58	0,73	1,36	99,22	80,76	0,00	0,00	0,06	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 59	0,74	1,36	99,22	80,76	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 60	0,74	1,35	99,22	80,83	0,00	0,00	0,06	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 61	0,74	1,34	99,22	80,84	0,00	0,00	0,01	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 62	0,95	1,05	99,22	80,84	0,00	0,01	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 63	1,16	0,86	99,22	81,75	0,00	0,00	0,91	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 64	1,16	0,86	99,22	81,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 65	1,16	0,86	99,22	81,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 66	1,17	0,86	99,22	81,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 67	1,20	0,83	99,31	81,75	0,00	0,09	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 68	1,51	0,66	99,31	93,02	0,00	0,00	11,28	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 69	1,54	0,65	99,32	93,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 70	1,56	0,64	99,32	93,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 71	1,56	0,64	99,32	93,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 72	1,57	0,64	99,32	93,13	0,00	0,00	0,11	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 73	1,57	0,64	99,32	93,13	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 74	1,71	0,59	99,32	93,13	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 75	1,79	0,56	99,32	93,13	0,00	0,01	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 76	1,83	0,55	99,32	97,29	0,00	0,00	4,16	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 77	1,85	0,54	99,32	97,29	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 78	2,01	0,50	99,32	97,29	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 79	2,09	0,48	99,32	97,29	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0
6/ 80	2,09	0,48	99,32	97,29	0,00	0,00	0,00	0,00	2991033,20	2991033,20	0,0



Slika 129.: 46. mod, 0,56 Hz



Slika 130.: 68. mod, 1,51 Hz

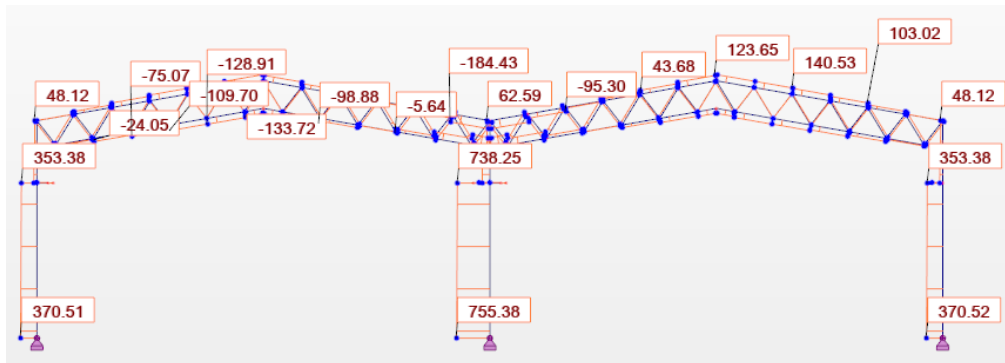


Slika 131.: 76. mod, 1,83 Hz

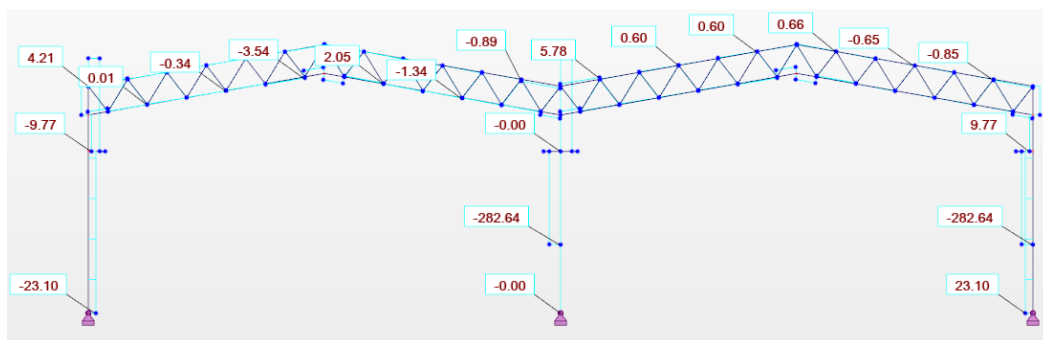
#### 10.4 Rezultati spektralne analize

Za faktor ponašanja u x smjeru odabran je  $q = 4$ , a u y smjeru  $q = 4$ . Njime se uzima u obzir sposobnost konstrukcije da apsorbira i troši energiju unesenu u konstrukciju tijekom potresa. Njime se modificira elastični spektar kako bismo dobili proračunski spektar i prisilili konstrukciju da se ponaša duktilno.

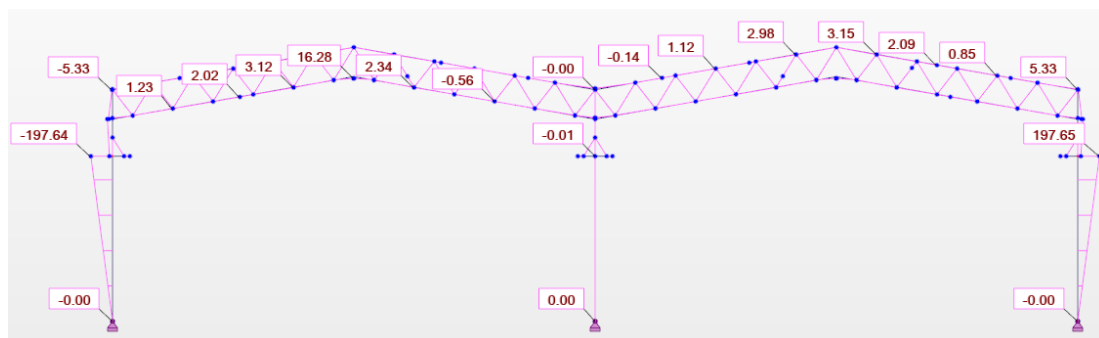
U nastavku su dani rezultati unutarnjih sila i momenata u elementima okvira uslijed potresnog djelovanja.



Slika 132.: Dijagrami uzdužnih sila uslijed potresnog djelovanja



Slika 133.: Dijagrami poprečnih sila uslijed potresnog djelovanja



Slika 134.: Dijagrami momenata uslijed potresnog djelovanja

Mjerodavna uzdužna tlačna sila u stupu:  $N = 755,38 \text{ kN}$

Mjerodavna poprečna sila u stupu:  $N = 23,10 \text{ kN}$

Mjerodavni moment savijanja u stupu:  $N = 197,65 \text{ kNm}$

Budući da su dobivene mjerodavne sile i momenti od potresnog djelovanja manji od djelovanja dobivenih statičkom analizom, nije potrebno dodatno provjeravati stupove na potresno djelovanje budući da je njihova provjera već provedena prethodno pri dimenzioniranju elemenata okvira.



## 11 DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA

U nastavku su provedene provjere pouzdanosti priključaka. Proračun je proveden na dva načina. Prvi način je proračun prema novim normama i izveden je ručno, a drugi način je u programskom paketu Robot Structural Analysis 2023. koji provodi proračun prema starim normama budući da nove još nisu implementirane u program.

Kvaliteta čelika: S 355

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 490 \text{ N/mm}^2$$

$\beta_w = 1,0$  – koeficijent korelacije

Kvaliteta vijaka: 8,8

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijenti sigurnosti:

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{NAPOMENA (isto kao i u staroj normi)}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \text{NAPOMENA (isto kao i u staroj normi)}$$

### 11.1 Priključak vlačno-tlačne dijagonale horizontalnog uzdužnog sprega

Priključak je jednorezni spoj izveden vijcima.

Odabrano: CHS 70 x 4

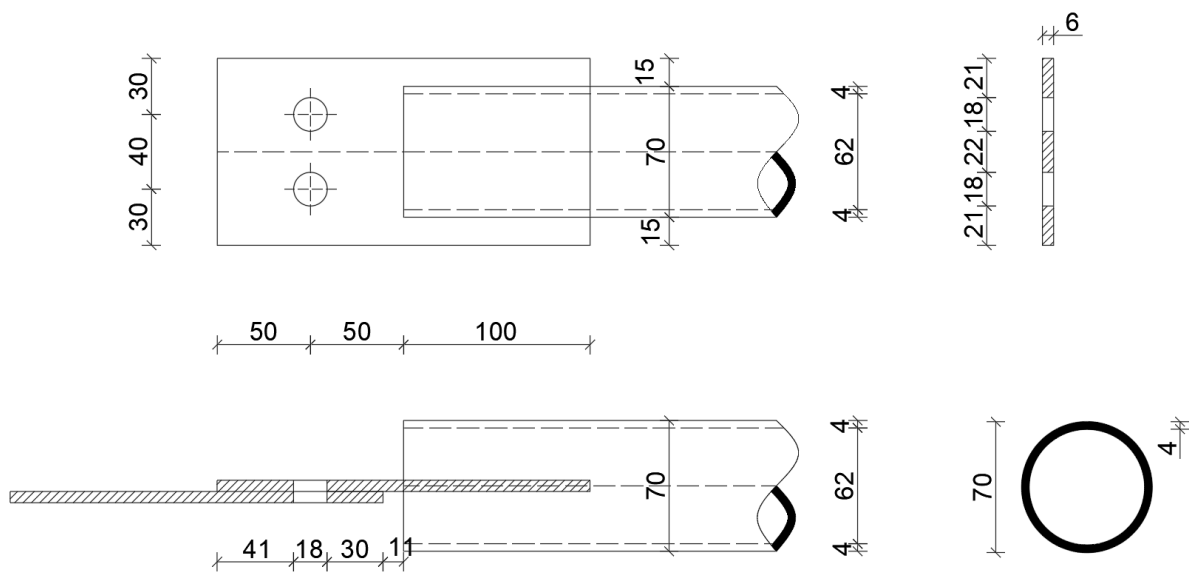
Kvaliteta čelika: S355

Kvaliteta vijaka: 8,8

Odabrano: 2 vijka M16

$N_{Ed} = 20,79 \text{ kN}$

$e_1 = 50 \text{ mm}$ ;  $e_2 = 50 \text{ mm}$ ;  $p_1 = 30 \text{ mm}$ ;  $p_2 = 40 \text{ mm}$



Slika 135.: Shema priključka dijagonale HUS-a

Otpornost na lom netto presjeka

$$A_{\text{netto}} = (100 - 2 \times 18) \times 6 = 384 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{\text{netto}} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 384 \times 490}{1,25} = 135,475 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{20,79}{135,475} = 0,15 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na tečenje brutto presjeka

$$A_{\text{brutto}} = 100 \times 6 = 600 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_{\text{brutto}} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{600 \times 355}{1,0} = 213 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{pl,Rd}}} = \frac{20,79}{213} = 0,10 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost vijaka na odrez

Računska otpornost jednog vijka

$$F_{\text{v,Rd}} = \frac{\alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \times 157}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$\alpha_V = 0,6$  za vijke klase 8.8

Računska otpornost

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\Sigma F_{\text{v,Rd}}} = \frac{20,79}{2 \times 60,29} = 0,17 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{d_0}; \frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3,0\right) = \min\left(\frac{50}{18}; \frac{50}{18} - \frac{1}{2}; 3 \frac{800}{490}; 3,0\right)$$

$$\alpha_b = 2,28$$

**NAPOMENA (prema starim normama  $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0\right)$ )**

$k_m = 1$  za čelik klase do S460

**NAPOMENA (prema starim normama**

**$k_1 = \min\left(2, 8\frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4\frac{p_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4\frac{p_2}{d_0}; 2, 5\right)$**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_m \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 2,28 \times 490 \times 16 \times 6}{1,25} = 85,8 \text{ kN}$$

$$\sum F_{b,Rd} = 2 \times 85,8 = 171,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\sum F_{b,Rd}} = \frac{20,79}{171,6} = 0,12 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost zavara

Duljina zavara:  $L = 4 \times 100 = 400 \text{ mm}$

Pretpostavljena debljina zavara: 3 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w} \times a \times L / \gamma_{M2} = \frac{490}{\sqrt{3} \times 0,9} \times 3 \times 400 / 1,25 = 301,762 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{20,79}{301,762} = 0,07 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

**NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)**

## 11.2 Priključak vlačno-tlačne dijagonale horizontalnog poprečnog sprega

Priključak je jednorezni spoj izveden vijcima.

Odabrano: CHS 127 x 5

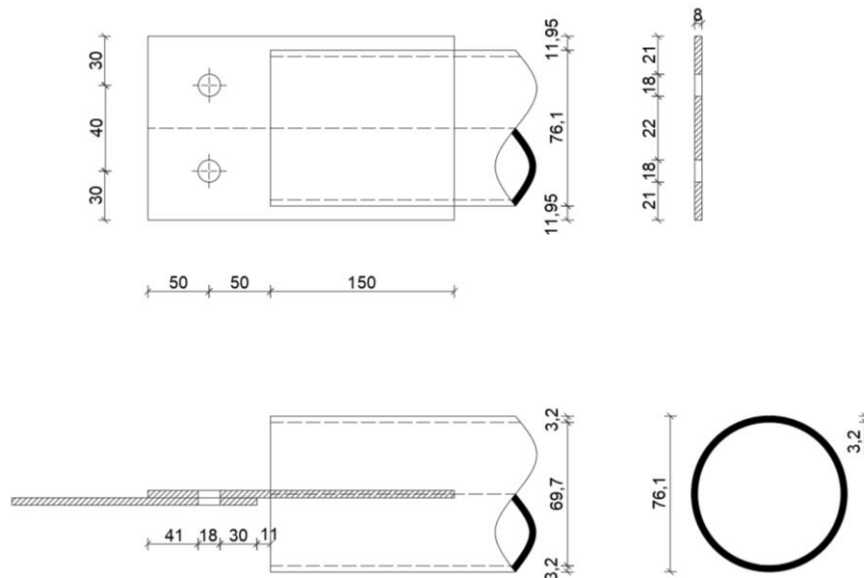
Kvaliteta čelika: S355

Kvaliteta vijaka: 8,8

Odabrano: 2 vijka M16

$N_{Ed} = 79,93 \text{ kN}$

$e_1 = 50 \text{ mm}$ ;  $e_2 = 30 \text{ mm}$ ;  $p_1 = 50 \text{ mm}$ ;  $p_2 = 40 \text{ mm}$



Slika 136.: Shema priključka dijagonale HPS-a

Otpornost na lom netto presjeka

$$A_{\text{netto}} = (100 - 2 \times 18) \times 8 = 512 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{\text{netto}} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 512 \times 490}{1,25} = 180,63 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{45,03}{180,63} = 0,25 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na tečenje brutto presjeka

$$A_{\text{brutto}} = 100 \times 8 = 800 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{\text{brutto}} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{800 \times 355}{1,0} = 284 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{45,03}{284} = 0,16 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost vijaka na odrez

Računska otpornost jednog vijka

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \times 157}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$\alpha_v = 0,6$  za vijke klase 8.8

Računska otpornost

$$\frac{N_{Ed}}{\Sigma F_{v,Rd}} = \frac{45,03}{2 \times 60,29} = 0,37 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{d_0}; \frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3,0\right) = \min\left(\frac{50}{18}; \frac{50}{18} - \frac{1}{2}; 3 \frac{800}{490}; 3,0\right)$$

$$\alpha_b = 2,28$$

**NAPOMENA (prema starim normama  $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$ )**

$k_m = 1$  za čelik klase do S460

**NAPOMENA (prema starim normama**

$$\mathbf{k_1 = \min\left(2, 8 \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0}; 2, 5\right)}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_m \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 2,27 \times 490 \times 16 \times 8}{1,25} = 113,9 \text{ kN}$$

$$\sum F_{b,Rd} = 2 \times 113,9 = 227,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\sum F_{b,Rd}} = \frac{45,03}{227,8} = 0,20 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost zavara

Duljina vara:  $L = 4 \times 150 = 600 \text{ mm}$

Pretpostavljena debljina zavara: 3 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w} \times a \times L / \gamma_{M2} = \frac{490}{\sqrt{3} \times 0,9} \times 3 \times 600 / 1,25 = 452,643 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{79,93}{452,643} = 0,18 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

**NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)**

### 11.3 Priključak vlačno-tlačne dijagonale vertikalnog uzdužnog sprega

Priključak je jednorezni spoj izveden vijcima.

Odabrano: CHS 193,7 x 6,3

Kvaliteta čelika: S355

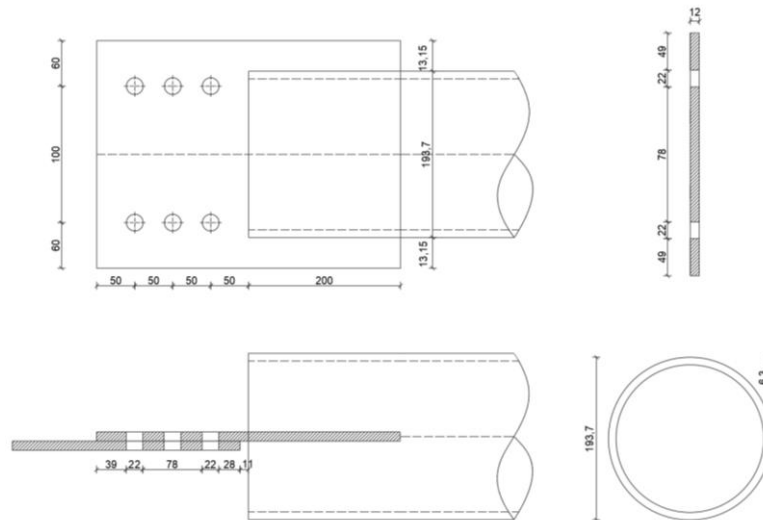
Kvaliteta vijaka: 8,8

Odabrano: 4 vijka M20

$N_{Ed} = 327,45 \text{ kN}$

$e_1 = 50 \text{ mm}; e_2 = 60 \text{ mm}; p_1 = 50 \text{ mm}; p_2 = 100 \text{ mm}$





Slika 137.: Shema priključka dijagonale VUS-a

Otpornost na lom netto presjeka

$$A_{\text{netto}} = (220 - 2 \times 22) \times 12 = 2112 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{\text{netto}} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 2112 \times 490}{1,25} = 745,114 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{327,45}{745,114} = 0,44 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na tečenje brutto presjeka

$$A_{\text{brutto}} = 220 \times 12 = 2640 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{\text{brutto}} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2640 \times 355}{1,0} = 937,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{327,45}{937,2} = 0,35 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost vijaka na odrez

Računska otpornost jednog vijka

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \times 245}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

$\alpha_V = 0,6$  za vijke klase 8.8

Računska otpornost

$$\frac{N_{Ed}}{\sum F_{v,Rd}} = \frac{327,45}{6 \times 94,08} = 0,58 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{d_0}; \frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3,0\right) = \min\left(\frac{50}{20}; \frac{50}{20} - \frac{1}{2}; 3 \frac{800}{490}; 3,0\right)$$

$\alpha_b = 2,0$

**NAPOMENA (prema starim normama  $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$ )**

$k_m = 1$  za čelik klase do S460

**NAPOMENA (prema starim normama**

$$\mathbf{k_1 = \min\left(2, 8 \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0}; 2, 5\right)}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_m \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 2,0 \times 490 \times 20 \times 12}{1,25} = 188,16 \text{ kN}$$

$$\sum F_{b,Rd} = 6 \times 188,16 = 1128,96 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\sum F_{b,Rd}} = \frac{327,45}{1128,96} = 0,29 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost zavara

Duljina vara:  $L = 4 \times 200 = 800 \text{ mm}$

Pretpostavljena debljina zavara: 5 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w} \times a \times L / \gamma_{M2} = \frac{490}{\sqrt{3} \times 0,9} \times 5 \times 800 / 1,25 = 1005,87 \text{ kN}$$

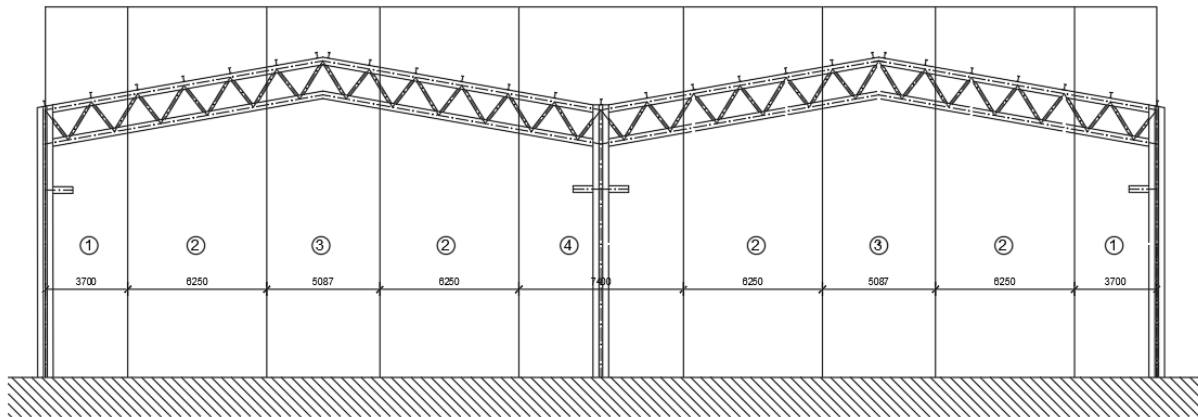
$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{327,45}{1005,87} = 0,33 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVAW}$$

**NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)**

#### 11.4 Rešetkasta prečka okvira

Prečka okvir će se podijeliti na 9 segmenata, od 1 do 4, koji će se uklapati u transportne gabarite te kao takvi lakše transportirati na gradilište.

Nastavak rešetke se sastoji od čelične ploče zavarene u radionici na gornji, donji pojas te ispunu, a na gradilištu se te ploče spajaju vijcima koji će se proračunati u nastavku.



Slika 138.: Shema transportnih gabarita nastavaka rešetkaste prečke

Nastavak rešetke će se izvesti vijcima. Pojas će se zavariti na čeonu ploču, a onda će se ploče međusobno povezati vijcima.

### 11.5 Nastavak gornjeg pojasa

HEA 180

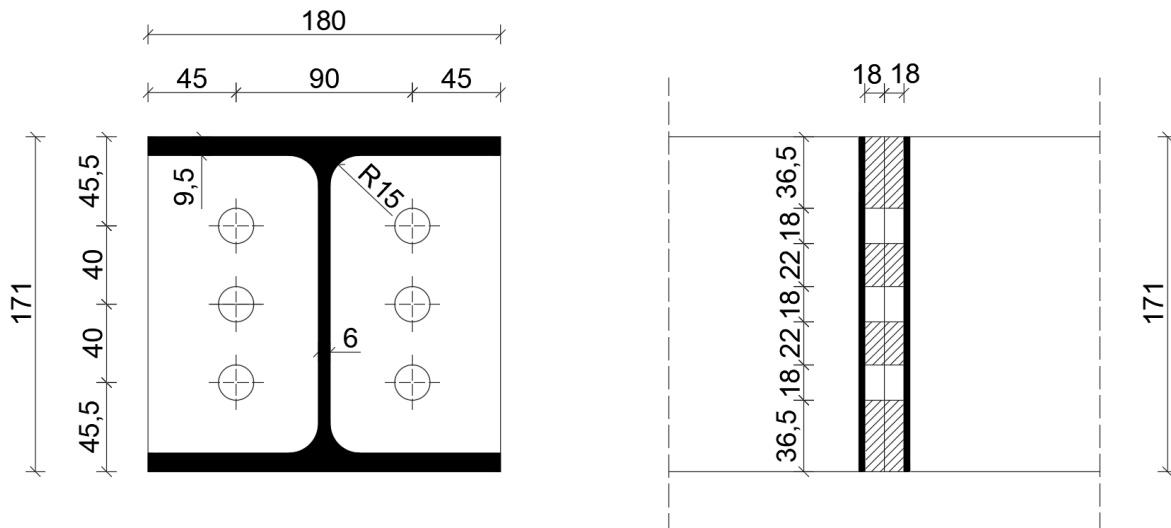
Kvaliteta čelika: S 355

Kvaliteta vijaka: 8,8

Mjerodavna je vlačna uzdužna sila:  $N_{Ed}=273,31$  kN

Odabrano: 6 vijaka M16, ploča debljine 18 mm

$e_1 = 45,5$  mm;  $e_2 = 45$  mm;  $p_1 = 40$  mm,  $p_2 = 90$  mm



Slika 139.: Shema nastavka gornjeg pojasa prečke preko čeonih ploča

Otpornost zavara

Debljina zavara:

$$a = 5 \text{ mm}$$

Duljina zavara:

$$L = 122 \cdot 2 + 144 \cdot 2 + 15 \cdot 4 = 592 \text{ mm}$$

Karakteristična otpornost zavara:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9} \cdot 5 \cdot 592 = 930,43 \text{ kN}$$

NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)

Računska otpornost zavara:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{930,43}{1,25} = 744,34 \text{ kN}$$

Otpornost:

$$N_{Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$273,31 < 744,34 \text{ kN} \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost vijaka na vlak

Karakteristična otpornost jednog vijka na vlak (M16):

$$F_{t,Rk} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,9 \cdot 800 \cdot 157 = 113,04 \text{ kN}$$

Karakteristična otpornost 6 vijaka na vlak:

$$F_{t,Rk} = 6 \cdot 113,04 = 678,24 \text{ kN}$$



Računska otpornost:

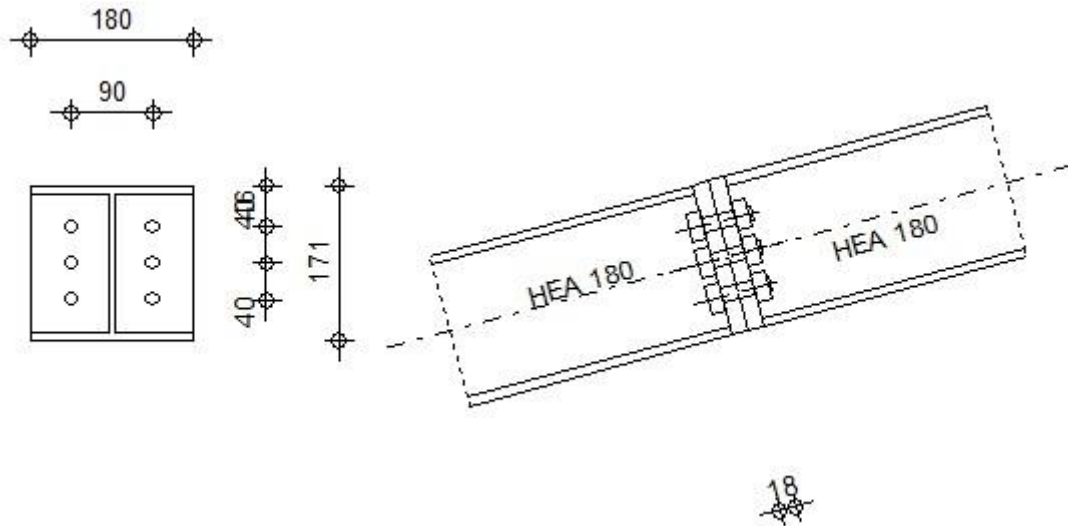
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{678,24}{1,25} = 542,592 \text{ kN}$$

Otpornost:

$$N_{Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$273,31 \text{ kN} < 542,592 \text{ kN} \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

	Robot Structural Analysis Professional 2023 <b>Design of fixed beam-to-beam connection</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	
		Ratio <b>0,53</b>



## General

Connection no.: 1

Connection name: Beam-Beam

## Geometry

### Left side

### Beam

Section: HEA 180

$a = -165,0$  [Deg] Inclination angle

$h_{bl} = 171$  [mm] Height of beam section

$b_{fbl} = 180$  [mm] Width of beam section

$t_{wbl} = 6$  [mm] Thickness of the web of beam section

$t_{fbl} = 10$  [mm] Thickness of the flange of beam section

$r_{bl} = 15$  [mm] Radius of beam section fillet

$A_{bl} = 4530$  [mm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam

$a = -165,0$  [Deg] Inclination angle

$I_{xbl} = 25100000$  [mm<sup>4</sup>] Moment of inertia of the beam section

Material: S355

$f_{yb} = 355,00$  [MPa] Resistance

### Right side

#### Beam

Section: HEA 180

$a = 15,0$  [Deg] Inclination angle

$h_{br} = 171$  [mm] Height of beam section

$b_{fbr} = 180$  [mm] Width of beam section

$t_{wbr} = 6$  [mm] Thickness of the web of beam section

$t_{fbr} = 10$  [mm] Thickness of the flange of beam section

$r_{br} = 15$  [mm] Radius of beam section fillet

$A_{br} = 4530$  [mm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam

$I_{xbr} = 25100000$  [mm<sup>4</sup>] Moment of inertia of the beam section

Material: S355

$f_{yb} = 355,00$  [MPa] Resistance

#### Bolts

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

$d = 16$  [mm] Bolt diameter

Class = 8.8 Bolt class

$F_{tRd} = 90,43$  [kN] Tensile resistance of a bolt

$n_h = 2$  Number of bolt columns

$n_v = 3$  Number of bolt rows

$h_1 = 46$  [mm] Distance between first bolt and upper edge of front plate

Horizontal spacing  $e_i = 90$  [mm]



$d = 16$  [mm] Bolt diameter

Vertical spacing  $p_i = 40;40$  [mm]

### Plate

$h_{pr} = 171$  [mm] Plate height

$b_{pr} = 180$  [mm] Plate width

$t_{pr} = 18$  [mm] Plate thickness

Material: S355

$f_{ypr} = 355,00$  [MPa] Resistance

### Fillet welds

$a_w = 5$  [mm] Web weld

$a_f = 5$  [mm] Flange weld

### Material factors

$g_{M0} = 1,00$  Partial safety factor [2.2]

$g_{M1} = 1,00$  Partial safety factor [2.2]

$g_{M2} = 1,25$  Partial safety factor [2.2]

$g_{M3} = 1,25$  Partial safety factor [2.2]

### Loads

#### Ultimate limit state

Case: Manual calculations.

$N_{b1,Ed} = 273,31$  [kN] Axial force in the right beam

### Results

#### Beam resistances

#### TENSION

$A_b = 4530$  [mm<sup>2</sup>] Area EN1993-1-1:[6.2.3]

$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / g_{M0}$

$N_{tb,Rd} = 1608,15$  [kN] Design tensile resistance of the section EN1993-1-1:[6.2.3]

## Geometrical parameters of a connection

### EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - FRONT PLATE

Nr	m	$m_x$	e	$e_x$	p	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	36	-	45	-	40	228	235	228	235	155	154	154	154
2	36	-	45	-	40	228	202	202	202	81	40	40	40
3	36	-	45	-	40	228	233	228	233	155	153	153	153

m – Bolt distance from the web

$m_x$  – Bolt distance from the beam flange

e – Bolt distance from the outer edge

$e_x$  – Bolt distance from the horizontal outer edge

p – Distance between bolts

$l_{eff,cp}$  – Effective length for a single bolt row in the circular failure mode

$l_{eff,nc}$  – Effective length for a single bolt row in the non-circular failure mode

$l_{eff,1}$  – Effective length for a single bolt row for mode 1

$l_{eff,2}$  – Effective length for a single bolt row for mode 2

$l_{eff,cp,g}$  – Effective length for a group of bolts in the circular failure mode

$l_{eff,nc,g}$  – Effective length for a group of bolts in the non-circular failure mode

$l_{eff,1,g}$  – Effective length for a group of bolts for mode 1

$l_{eff,2,g}$  – Effective length for a group of bolts for mode 2

### Connection resistance for tension

$F_{t,Rd} = 90,43$  [kN] Bolt resistance for tension [Table 3.4]

$B_{p,Rd} = 319,21$  [kN] Punching shear resistance of a bolt [Table 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$  – column flange resistance due to bending

$F_{t,wc,Rd}$  – column web resistance due to tension

$F_{t,ep,Rd}$  – resistance of the front plate due to bending

$F_{t,fc,Rd}$  – column flange resistance due to bending

$F_{t,wb,Rd}$  – resistance of the web in tension

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd}) \quad [6.2.6.4] , [Tab.6.2]$$

$$F_{t,wc,Rd} = w b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / g_{M0} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd}) \quad [6.2.6.5] , [Tab.6.2]$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / g_{M0} \quad [6.2.6.8.(1)]$$

### RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t1,Rd,comp}$	Component
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	180,86	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(1)} = 180,86$	180,86	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(1)} = 486,39$	486,39	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 638,41$	638,41	Bolts due to shear punching

### RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t2,Rd,comp}$	Component
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	156,74	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(2)} = 180,86$	180,86	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(2)} = 429,46$	429,46	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 638,41$	638,41	Bolts due to shear punching
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 337,60 - 180,86$	156,74	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 414,22 - 180,86$	233,35	Beam web - tension - group

### RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 3

$F_{t3,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t3,Rd,comp}$	Component
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	179,78	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(3)} = 180,86$	180,86	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(3)} = 486,39$	486,39	Beam web - tension

$F_{t3,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t3,Rd,comp}$	Component
$B_{p,Rd} = 638,41$	638,41	Bolts due to shear punching
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 336,52 - 156,74$	179,78	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 410,95 - 156,74$	254,21	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 542,59 - 337,60$	204,99	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 739,11 - 337,60$	401,51	Beam web - tension - group

### SUMMARY TABLE OF FORCES

N	$h_j$	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	122	180,86	-	-	180,86	486,39	180,86	638,41
2	81	156,74	-	-	180,86	429,46	180,86	638,41
3	41	179,78	-	-	180,86	486,39	180,86	638,41

### CONNECTION RESISTANCE FOR TENSION $N_{j,Rd}$

$$N_{j,Rd} = \sum F_{tj,Rd}$$

$$N_{j,Rd} = 517,38 \text{ [kN]} \quad \text{Connection resistance for tension} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,53 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,53)$$

### Weld resistance

$$A_w = 2660 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of all welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 1440 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of horizontal welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 1220 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Area of vertical welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = 92954 \text{ [mm}^4\text{]} \quad \text{Moment of inertia of the weld arrangement with respect to the hor. axis} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$s_{\max} = 72,65 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.2(6)]$$

**Weld resistance**

$A_w =$	2660	[mm <sup>2</sup> ]	Area of all welds	[4.5.3.2(2)]
$s_{\wedge} = t_{\wedge} =$	72,65	[MPa]	Stress in a vertical weld	[4.5.3.2(5)]
$t_{  } =$	0,00	[MPa]	Tangent stress	[4.5.3.2(5)]
$b_w =$	0,90		Correlation coefficient	[4.5.3.2(7)]

$\ddot{O}[s_{\wedge \max}^2 + 3*(t_{\wedge \max}^2)] \leq f_u / (b_w * g_{M2})$	145,31 < 435,56	verified	(0,33)
$\ddot{O}[s_{\wedge}^2 + 3*(t_{\wedge}^2 + t_{  }^2)] \leq f_u / (b_w * g_{M2})$	145,31 < 435,56	verified	(0,33)
$s_{\wedge} \leq 0,9 * f_u / g_{M2}$	72,65 < 352,80	verified	(0,21)

**Connection stiffness**

Axial force in the beam exceeds 5% of the  $N_{pl,Rd}$  strength. According to point 6.3.1.(4), connection stiffness cannot be calculated.

**Weakest component:**

FRONT PLATE - TENSION

**Connection conforms to the code**

Ratio 0,53

**11.6 Nastavak donjeg pojasa**

HEA 180

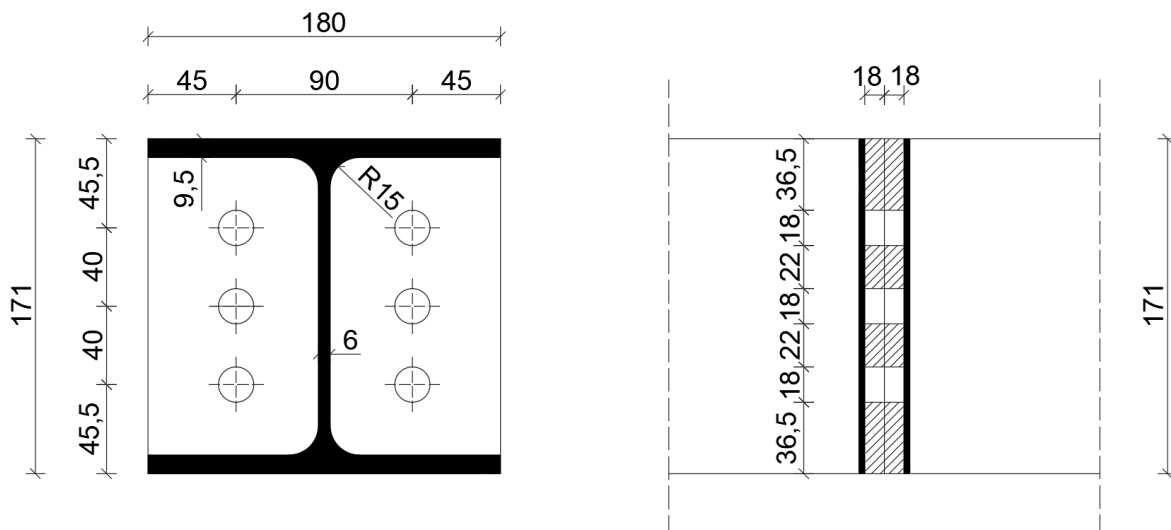
Kvaliteta čelika: S 355

Kvaliteta vijaka: 8,8

Mjerodavna je vlačna uzdužna sila:  $N_{Ed}=182,22$  kN

Odabrano: 6 vijaka M16, ploča debljine 18 mm

$e_1 = 45,5$  mm;  $e_2 = 45$  mm;  $p_1 = 40$  mm,  $p_2 = 90$  mm



Slika 140.: Shema nastavka donjeg pojasa prečke preko čeonih ploča

Otpornost zavara

Debljina zavara:

$a = 10$  mm

Duljina zavara:

$L = 122 \cdot 2 + 144 \cdot 2 + 15 \cdot 4 = 592$  mm

Karakteristična otpornost zavara:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9} \cdot 10 \cdot 592 = 1860,86 \text{ kN}$$

**NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)**

Računska otpornost zavara:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{1860,86}{1,25} = 1488,69 \text{ kN}$$

Otpornost:

$$N_{Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$182,22 < 1488,69 \text{ kN} \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost vijaka na vlak

Karakteristična otpornost jednog vijaka na vlak (M16):

$$F_{t,Rk} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,9 \cdot 800 \cdot 157 = 113,04 \text{ kN}$$

Karakteristična otpornost 6 vijaka na vlak:

$$F_{t,Rk} = 6 \cdot 113,04 = 678,24 \text{ kN}$$

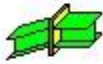

Računska otpornost:

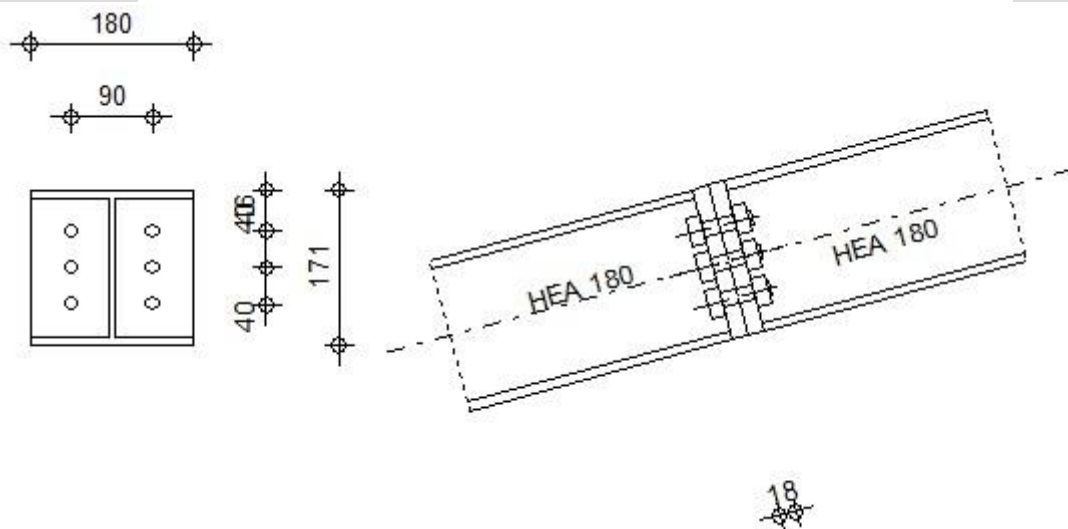
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{678,24}{1,25} = 542,592 \text{ kN}$$

Otpornost:

$$N_{Ed} \leq F_{t,Rd}$$

182,22 kN < 542,592 kN → ZADOVOLJAVA!

	Robot Structural Analysis Professional 2023 <b>Design of fixed beam-to-beam connection</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	
		Ratio <b>0,35</b>



### General

Connection no.: 1

Connection name: Beam-Beam

### Geometry

#### Left side



**Beam**

Section: HEA 180

a = -165,0 [Deg] Inclination angle

h<sub>bl</sub> = 171 [mm] Height of beam sectionb<sub>fbl</sub> = 180 [mm] Width of beam sectiont<sub>wbl</sub> = 6 [mm] Thickness of the web of beam sectiont<sub>fbl</sub> = 10 [mm] Thickness of the flange of beam sectionr<sub>bl</sub> = 15 [mm] Radius of beam section filletA<sub>bl</sub> = 4530 [mm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beamI<sub>xbl</sub> = 25100000 [mm<sup>4</sup>] Moment of inertia of the beam section

Material: S355

f<sub>yb</sub> = 355,00 [MPa] Resistance**Right side****Beam**

Section: HEA 180

a = 15,0 [Deg] Inclination angle

h<sub>br</sub> = 171 [mm] Height of beam sectionb<sub>fbr</sub> = 180 [mm] Width of beam sectiont<sub>wbr</sub> = 6 [mm] Thickness of the web of beam sectiont<sub>fbr</sub> = 10 [mm] Thickness of the flange of beam sectionr<sub>br</sub> = 15 [mm] Radius of beam section filletA<sub>br</sub> = 4530 [mm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beamI<sub>xbr</sub> = 25100000 [mm<sup>4</sup>] Moment of inertia of the beam section

Material: S355

f<sub>yb</sub> = 355,00 [MPa] Resistance

**Bolts**

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

$d = 16$  [mm] Bolt diameter

Class = 8.8 Bolt class

$F_{tRd} = 90,43$  [kN] Tensile resistance of a bolt

$n_h = 2$  Number of bolt columns

$n_v = 3$  Number of bolt rows

$h_1 = 46$  [mm] Distance between first bolt and upper edge of front plate

Horizontal spacing  $e_i = 90$  [mm]

Vertical spacing  $p_i = 40;40$  [mm]

**Plate**

$h_{pr} = 171$  [mm] Plate height

$b_{pr} = 180$  [mm] Plate width

$t_{pr} = 18$  [mm] Plate thickness

Material: S355

$f_{ypr} = 355,00$  [MPa] Resistance

**Fillet welds**

$a_w = 5$  [mm] Web weld

$a_f = 5$  [mm] Flange weld

**Material factors**

$g_{M0} = 1,00$  Partial safety factor [2.2]

$g_{M1} = 1,00$  Partial safety factor [2.2]

$g_{M2} = 1,25$  Partial safety factor [2.2]

$g_{M3} = 1,25$  Partial safety factor [2.2]

**Loads****Ultimate limit state**

Case: Manual calculations.

$N_{b1,Ed} = 182,22$  [kN] Axial force in the right beam

## Results

### Beam resistances

#### TENSION

$A_b = 4530$  [mm<sup>2</sup>] Area EN1993-1-1:[6.2.3]

$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / g_{M0}$

$N_{tb,Rd} = 1608,15$  [kN] Design tensile resistance of the section EN1993-1-1:[6.2.3]

### Geometrical parameters of a connection

#### EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - FRONT PLATE

Nr	m	$m_x$	e	$e_x$	p	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	36	-	45	-	40	228	235	228	235	155	154	154	154
2	36	-	45	-	40	228	202	202	202	81	40	40	40
3	36	-	45	-	40	228	233	228	233	155	153	153	153

m – Bolt distance from the web

$m_x$  – Bolt distance from the beam flange

e – Bolt distance from the outer edge

$e_x$  – Bolt distance from the horizontal outer edge

p – Distance between bolts

$l_{eff,cp}$  – Effective length for a single bolt row in the circular failure mode

$l_{eff,nc}$  – Effective length for a single bolt row in the non-circular failure mode

$l_{eff,1}$  – Effective length for a single bolt row for mode 1

$l_{eff,2}$  – Effective length for a single bolt row for mode 2

$l_{eff,cp,g}$  – Effective length for a group of bolts in the circular failure mode

$l_{eff,nc,g}$  – Effective length for a group of bolts in the non-circular failure mode

$m$  – Bolt distance from the web

$l_{eff,1,g}$  – Effective length for a group of bolts for mode 1

$l_{eff,2,g}$  – Effective length for a group of bolts for mode 2

### Connection resistance for tension

$F_{t,Rd} = 90,43$  [kN] Bolt resistance for tension [Table 3.4]

$B_{p,Rd} = 319,21$  [kN] Punching shear resistance of a bolt [Table 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$  – column flange resistance due to bending

$F_{t,wc,Rd}$  – column web resistance due to tension

$F_{t,ep,Rd}$  – resistance of the front plate due to bending

$F_{t,wb,Rd}$  – resistance of the web in tension

$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$  [6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$F_{t,wc,Rd} = w b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / g_{M0}$  [6.2.6.3.(1)]

$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$  [6.2.6.5] , [Tab.6.2]

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / g_{M0}$  [6.2.6.8.(1)]

### RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t1,Rd,comp}$	Component
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	180,86	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(1)} = 180,86$	180,86	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(1)} = 486,39$	486,39	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 638,41$	638,41	Bolts due to shear punching

### RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t2,Rd,comp}$	Component
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	156,74	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(2)} = 180,86$	180,86	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(2)} = 429,46$	429,46	Beam web - tension

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t2,Rd,comp}$	Component
$B_{p,Rd} = 638,41$	638,41	Bolts due to shear punching
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 337,60 - 180,86$	156,74	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 414,22 - 180,86$	233,35	Beam web - tension - group

**RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 3**

$F_{t3,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t3,Rd,comp}$	Component
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	179,78	Bolt row resistance
$F_{t,ep,Rd(3)} = 180,86$	180,86	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(3)} = 486,39$	486,39	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 638,41$	638,41	Bolts due to shear punching
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 336,52 - 156,74$	179,78	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 410,95 - 156,74$	254,21	Beam web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 542,59 - 337,60$	204,99	Front plate - tension - group
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 739,11 - 337,60$	401,51	Beam web - tension - group

**SUMMARY TABLE OF FORCES**

N	$h_j$	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	122	180,86	-	-	180,86	486,39	180,86	638,41
2	81	156,74	-	-	180,86	429,46	180,86	638,41
3	41	179,78	-	-	180,86	486,39	180,86	638,41

**CONNECTION RESISTANCE FOR TENSION  $N_{j,Rd}$** 

$$N_{j,Rd} = \sum F_{tj,Rd}$$

$$N_{j,Rd} = 517,38 \text{ [kN]} \quad \text{Connection resistance for tension} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,35 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,35)$$

**Weld resistance**

$A_w =$	2660	[mm <sup>2</sup> ]	Area of all welds	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} =$	1440	[mm <sup>2</sup> ]	Area of horizontal welds	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	1220	[mm <sup>2</sup> ]	Area of vertical welds	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	92954	[mm <sup>4</sup> ]	Moment of inertia of the weld arrangement with respect to the hor. axis	[4.5.3.2(5)]
$s_{\max} = t_{\max}$	48,44	[MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3.2(6)]
$s_{\perp} = t_{\perp}$	48,44	[MPa]	Stress in a vertical weld	[4.5.3.2(5)]
$t_{\parallel}$	0,00	[MPa]	Tangent stress	[4.5.3.2(5)]
$b_w =$	0,90		Correlation coefficient	[4.5.3.2(7)]

$\checkmark [s_{\max}^2 + 3 \cdot (t_{\max}^2)] \leq f_u / (b_w \cdot g_{M2})$	96,88 < 435,56	verified	(0,22)
$\checkmark [s_{\perp}^2 + 3 \cdot (t_{\perp}^2 + t_{\parallel}^2)] \leq f_u / (b_w \cdot g_{M2})$	96,88 < 435,56	verified	(0,22)
$s_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / g_{M2}$	48,44 < 352,80	verified	(0,14)

**Connection stiffness**

Axial force in the beam exceeds 5% of the  $N_{pl,Rd}$  strength. According to point 6.3.1.(4), connection stiffness cannot be calculated.

**Weakest component:**

FRONT PLATE - TENSION

**Connection conforms to the code**

Ratio 0,35

## 11.7 Nastavak elementa ispune

SHS 60x60x4

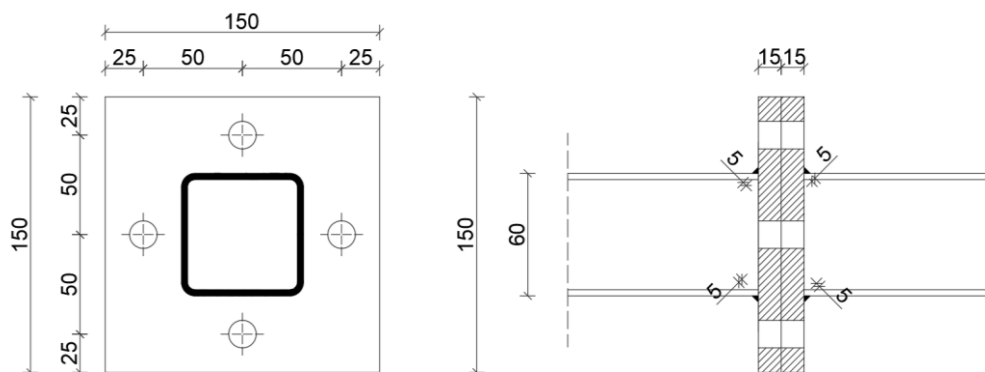
Kvaliteta čelika: S 355

Kvaliteta vijaka: 8,8

Mjerodavna je vlačna uzdužna sila:  $N_{Ed}=202,99$  kN

Odabrano: 4 vijka M16, ploča debljine 15 mm

$e_1 = 25$  mm;  $e_2 = 25$  mm;  $p_1 = 65$  mm,  $p_2 = 65$  mm



Slika 141.: Shema nastavka ispune prečke preko čeonih ploča

Otpornost zavara

Debljina zavara:

$a = 6$  mm

Duljina zavara:

$$L = 4 \cdot 80 = 320 \text{ mm}$$

Karakteristična otpornost zavora:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} \cdot a \cdot L = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9} \cdot 6 \cdot 320 = 603,523 \text{ kN}$$

NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)

Računska otpornost zavora:

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{603,523}{1,25} = 482,82 \text{ kN}$$

Otpornost:

$$N_{Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$202,99 < 482,82 \text{ kN} \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost vijaka na vlak

Karakteristična otpornost jednog vijka na vlak (M16):

$$F_{t,Rk} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,9 \cdot 800 \cdot 157 = 113,04 \text{ kN}$$

Karakteristična otpornost 6 vijaka na vlak:



$$F_{t,Rk} = 4 \cdot 113,04 = 452,16 \text{ kN}$$

Računska otpornost:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M2}} = \frac{452,16}{1,25} = 361,73 \text{ kN}$$

Otpornost:

$$N_{Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$202,99 \text{ kN} < 361,73 \text{ kN} \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Proračun potrebne debljine ploče kako bi konzervativno zanemarili kontaktne sile uslijed deformacije ploče.

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4b'}{0,9 \cdot \frac{f_{yp} \cdot p_2}{\gamma_{M0}}} \cdot \frac{N_{Ed}}{n}}$$

$$b' = e_1 - \frac{d}{2} + t_1 = 25 - \frac{18}{2} + 4 = 20 \text{ mm}$$

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 20}{0,9 \cdot \frac{355 \cdot 65}{1,0}} \cdot \frac{202,99 \cdot 10^3}{4}} = 13,98 \text{ mm}$$

ODABRANO:  $t = 15 \text{ mm}$

## 11.8 Spoj stope glavnog stupa

Mjerodavna sila za dimenzioniranje je horizontalna reakcija VUS-a i horizontalna reakcija

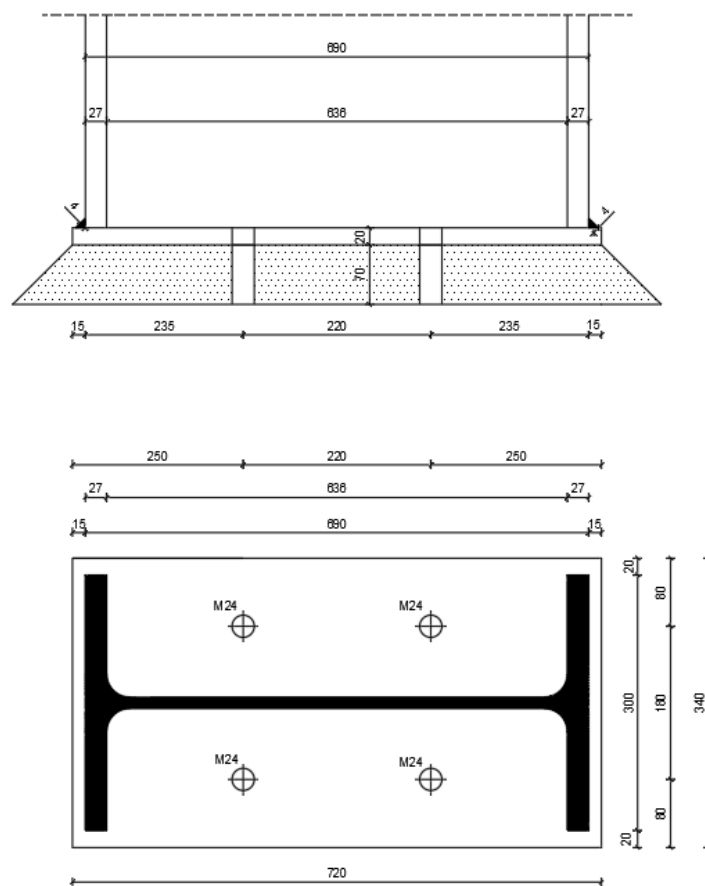
okvira:

$$V_{Ed} = \sqrt{66,08^2 + 244,37^2} = 253,15 \text{ kN}$$

Pravila za dimenzioniranje spoja: Var ne smije biti najslabija komponenta.

Odabrano: 4 vijka M24, ploča debljine 20 mm

$$e_1 = 250 \text{ mm}; e_2 = 80 \text{ mm}; p_1 = 220 \text{ mm}; p_2 = 180 \text{ mm}$$



Slika 142.: Spoj glavnog stupa s tlom

Otpornost vijaka na odrez

Računska posmična otpornost jednog vijka

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \times 353}{1,25} = 135,552 \text{ kN}$$

$\alpha_V = 0,6$  za vijke klase 8.8

Računska posmična otpornost

$$\frac{V_{Ed}}{\sum F_{v,Rd}} = \frac{253,15}{4 \times 135,552} = 0,47 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{d_0}; \frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3,0\right) = \min\left(\frac{250}{26}; \frac{220}{26} - \frac{1}{2}; 3 \frac{800}{490}; 3,0\right)$$

$$\alpha_b = 3,0$$

**NAPOMENA** (prema starim normama  $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$ )

$k_m = 1$  za čelik klase do S460

**NAPOMENA** (prema starim normama

$$k_1 = \min\left(2, 8 \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0}; 2, 5\right)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_m \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 3,0 \times 490 \times 24 \times 20}{1,25} = 564,48 \text{ kN}$$

$$\sum F_{b,Rd} = 4 \times 564,48 = 2257,92 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{\sum F_{b,Rd}} = \frac{253,15}{2257,92} = 0,11 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na poprečno opterećenje

**(NAPOMENA: Zahtijevane provjere za poprečno opterećenje pričvršćivača su slom čelika bez kraka sile, slom čelika s krakom sile, slom betona polugom i slom ruba betona. Budući da su izrazi za navedene provjere dane samo u starim normama, otpornost na poprečno opterećenje će se proračunati u Robotu koji koristi stare norme [25].)**

Otpornost zavara

Duljina zavara (HEA 700):  $L = 2 \times 300 + 4 \times 27 + 2 \times 285,5 + 2 \times 636 = 2551 \text{ mm}$

Pretpostavljena debljina vara: 5 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w} \times a \times L / \gamma_{M2} = \frac{490}{\sqrt{3} \times 0,9} \times 5 \times 2551 / 1,25 = 3207,48 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{253,15}{3207,48} = 0,08 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$


**NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)**

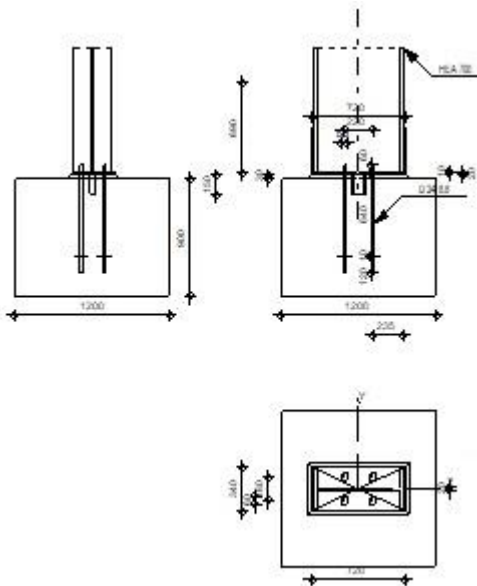
Otpornost podložne ploče

$$A_{netto} = (340 - 2 \cdot 26) \times 20 = 5760 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{netto} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 5760 \times 490}{1,25} = 2032,13 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{253,15}{2032,13} = 0,12 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

	Robot	Structural	Analysis	Professional	2023	
	<b>Pinned column base design</b>					
Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete						0,81



General

Connection no.: 2

Connection name: Pinned column base

Geometry

Column

Section: HEA 700

$L_c =$	12,00	[m]	Column length
$\alpha =$	0,0	[Deg]	Inclination angle
$h_c =$	690	[mm]	Height of column section
$b_{fc} =$	300	[mm]	Width of column section
$t_{wc} =$	14	[mm]	Thickness of the web of column section

$L_c =$	12,00	[m]	Column length
$t_{fc} =$	27	[mm]	Thickness of the flange of column section
$r_c =$	27	[mm]	Radius of column section fillet
$A_c =$	26000	[mm <sup>2</sup> ]	Cross-sectional area of a column
$I_{yc} =$	2153000000	[mm <sup>4</sup> ]	Moment of inertia of the column section

Material: S355

$f_{yc} =$	355,00 [MPa]	Resistance
$f_{uc} =$	490,00 [MPa]	Yield strength of a material

Column base

$l_{pd} =$	720	[mm]	Length
$b_{pd} =$	340	[mm]	Width
$t_{pd} =$	20	[mm]	Thickness

Material: S355

$f_{ypd} =$	355,00	[MPa]	Resistance
$f_{upd} =$	490,00	[MPa]	Yield strength of a material

Anchorage

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class =	8.8	Anchor class
$f_{yb} =$	640,00 [MPa]	Yield strength of the anchor material
$f_{ub} =$	800,00 [MPa]	Tensile strength of the anchor material
$d =$	24	[mm] Bolt diameter
$A_s =$	353	[mm <sup>2</sup> ] Effective section area of a bolt
$A_v =$	452	[mm <sup>2</sup> ] Area of bolt section
$n_v =$	2	Number of bolt columns
$n_H =$	2	Number of bolt rows
$e_H =$	220	[mm] Horizontal spacing

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class = 8.8                      Anchor class

$e_v = 180$  [mm]      Vertical spacing

### Anchor dimensions

$L_1 = 60$  [mm]

$L_2 = 640$  [mm]

$L_3 = 120$  [mm]

### Anchor plate

$l_p = 100$  [mm]      Length

$b_p = 100$  [mm]      Width

$t_p = 10$  [mm]      Thickness

Material:      S355

$f_y = 355,00$  [MPa] Resistance

### Washer

$l_{wd} = 50$  [mm]      Length

$b_{wd} = 60$  [mm]      Width

$t_{wd} = 10$  [mm]      Thickness

### Wedge

Section:      IPE 100

$l_w = 150$  [mm] Length

Material:      S355

$f_{yw} = 355,00$  [MPa] Resistance

### Stiffener

$l_s = 720$  [mm]      Length

$h_s = 690$  [mm]      Height

$t_s = 20$  [mm]      Thickness

$l_s = 720$  [mm] Length

### Material factors

$\gamma_{M0} = 1,00$  Partial safety factor

$\gamma_{M2} = 1,25$  Partial safety factor

$\gamma_C = 1,50$  Partial safety factor

### Spread footing

$L = 1200$  [mm] Spread footing length

$B = 1200$  [mm] Spread footing width

$H = 900$  [mm] Spread footing height

### Concrete

Class C25

$f_{ck} = 25,00$  [MPa] Characteristic resistance for compression

### Grout layer

$t_g = 30$  [mm] Thickness of leveling layer (grout)

$f_{ck,g} = 12,00$  [MPa] Characteristic resistance for compression

$C_{f,d} = 0,30$  Coeff. of friction between the base plate and concrete

### Welds

$a_p = 5$  [mm] Footing plate of the column base

$a_w = 5$  [mm] Wedge

$a_s = 5$  [mm] Stiffeners

### Loads

Case: Manual calculations.

$V_{j,Ed,y} = 66,08$  [kN] Shear force

$V_{j,Ed,z} = 244,37$  [kN] Shear force

### Results

#### Compression zone



**COMPRESSION OF CONCRETE**

$$f_{cd} = 16,67 \text{ [MPa]} \text{ Design compressive resistance} \quad \text{EN 1992-1:[3.1.6.(1)]}$$

$$f_j = 24,85 \text{ [MPa]} \text{ Design bearing resistance under the base plate [6.2.5.(7)]}$$

$$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{Mo}))}$$

$$c = 44 \text{ [mm]} \text{ Additional width of the bearing pressure zone} \quad \text{[6.2.5.(4)]}$$

$$b_{eff} = 86 \text{ [mm]} \text{ Effective width of the bearing pressure zone under the flange} \quad \text{[6.2.5.(3)]}$$

$$l_{eff} = 340 \text{ [mm]} \text{ Effective length of the bearing pressure zone under the flange} \quad \text{[6.2.5.(3)]}$$

$$A_{c0} = 29120 \text{ [mm}^2\text{]} \text{ Area of the joint between the base plate and the foundation} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$A_{c1} = 26208 \text{ [mm}^2\text{]} \text{ Maximum design area of load distribution} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$F_{rd,u} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3 * A_{c0} * f_{cd}$$

$$F_{rd,u} = 1456,01 \text{ [kN]} \text{ Bearing resistance of concrete} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$\beta_j = 0,67 \text{ Reduction factor for compression} \quad \text{[6.2.5.(7)]}$$

$$f_{jd} = \beta_j * F_{rd,u} / (b_{eff} * l_{eff})$$

$$f_{jd} = 33,33 \text{ [MPa]} \text{ Design bearing resistance} \quad \text{[6.2.5.(7)]}$$

$$A_{c,n} = 114096 \text{ [mm}^2\text{]} \text{ Bearing area for compression} \quad \text{[6.2.8.2.(1)]}$$

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} * f_{jd}$$

$$F_{c,Rd,n} = 3803,21 \text{ [kN]} \text{ Bearing resistance of concrete for compression [6.2.8.2.(1)]}$$

**RESISTANCES OF SPREAD FOOTING IN THE COMPRESSION ZONE**

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$$N_{j,Rd} = 3803,21 \text{ [kN]} \text{ Resistance of a spread footing for axial compression [6.2.8.2.(1)]}$$

Connection capacity check

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \text{ (6.24)} \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{verified} \text{ (0,00)}$$

Shear

**BEARING PRESSURE OF AN ANCHOR BOLT ONTO THE BASE PLATE****Shear force  $V_{j,Ed,y}$** 

$\alpha_{d,y} = 1,0$  Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear [Table 3.4]

$\alpha_{b,y} = 1,0$  Coeff. for resistance calculation  $F_{1,vb,Rd}$  [Table 3.4]

$k_{1,y} = 2,5$  Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear [Table 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \cdot \alpha_{b,y} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,y} = 470,4$  [kN Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate [6.2.2.(7)]]

**Shear force  $V_{j,Ed,z}$** 

$\alpha_{d,z} = 3,2$  Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear [Table 3.4]

$\alpha_{b,z} = 1,0$  Coeff. for resistance calculation  $F_{1,vb,Rd}$  [Table 3.4]

$k_{1,z} = 2,5$  Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear [Table 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,z} = 470,4$  [kN Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate [6.2.2.(7)]]

**SHEAR OF AN ANCHOR BOLT**

$\alpha_b = 0,25$  Coeff. for resistance calculation  $F_{2,vb,Rd}$  [6.2.2.(7)]

$A_{vb} = 452$  [mm<sup>2</sup>] Area of bolt section [6.2.2.(7)]

$f_{ub} = 800,00$  [MPa] Tensile strength of the anchor material [6.2.2.(7)]

$\gamma_{M2} = 1,25$  Partial safety factor [6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$F_{2,vb,Rd} = 71,80$  [kN] Shear resistance of a bolt - without lever arm [6.2.2.(7)]

$\alpha_M = \frac{2,0}{0}$  Factor related to the fastening of an anchor in the CEB foundation [9.3.2.2]

$M_{Rk,s} = \frac{1,3}{0}$  [kN\*m] Characteristic bending resistance of an anchor CEB [9.3.2.2]

$l_{sm} = 52$  [mm] Lever arm length CEB [9.3.2.2]

$\gamma_{Ms} = \frac{1,2}{0}$  Partial safety factor CEB [3.2.3.2]

$$F_{v,Rd,sm} = \alpha_M * M_{Rk,s} / (l_{sm} * \gamma_{Ms})$$

$F_{v,Rd,sm} = 41,76$  [kN] Shear resistance of a bolt - with lever arm CEB [9.3.1]

### CONCRETE PRY-OUT FAILURE

$N_{Rk,c} = 273,33$  [kN] Design uplift capacity CEB [9.2.4]

$k_3 = 2,00$  Factor related to the anchor length CEB [9.3.3]

$\gamma_{Mc} = 2,16$  Partial safety factor CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,cp} = k_3 * N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$$

$F_{v,Rd,cp} = 253,09$  [kN] Concrete resistance for pry-out failure CEB [9.3.1]

### CONCRETE EDGE FAILURE

Shear force  $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c} = \frac{335}{0,62}$  [kN] Characteristic resistance of an anchor CEB [9.3.4.(a)]

$\Psi_{A,V,y} = \frac{0,6}{4}$  Factor related to anchor spacing and edge distance CEB [9.3.4]

$\Psi_{h,V,y} = \frac{1,0}{0}$  Factor related to the foundation thickness CEB [9.3.4.(c)]

$\Psi_{s,V,y} = \frac{0,8}{9}$  Factor related to the influence of edges parallel to the shear load direction CEB [9.3.4.(d)]

**Shear force  $V_{j,Ed,y}$**

$V_{Rk,c}$  335 [k  
 $\gamma_y = 1,62$  N] Characteristic resistance of an anchor CEB [9.3.4.(a)]

$\psi_{ec,V,y}$  1,0 Factor taking account a group effect when different shear loads are acting on the individual anchors in a group CEB [9.3.4.(e)]

$\psi_{\alpha,V,y}$  1,0 Factor related to the angle at which the shear load is applied CEB [9.3.4.(f)]

$\psi_{ucr,V,y}$  1,0 Factor related to the type of edge reinforcement used CEB [9.3.4.(g)]

$\gamma_{Mc}$  2,1 Partial safety factor CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y} \cdot \psi_{A,V,y} \cdot \psi_{h,V,y} \cdot \psi_{s,V,y} \cdot \psi_{ec,V,y} \cdot \psi_{\alpha,V,y} \cdot \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$$

$F_{v,Rd,c,y} = 88,79$  [kN] Concrete resistance for edge failure CEB [9.3.1]

**Shear force  $V_{j,Ed,z}$**

$V_{Rk,c}$  316 [k  
 $\gamma_z = 1,07$  N] Characteristic resistance of an anchor CEB [9.3.4.(a)]

$\psi_{A,V,z}$  0,6 Factor related to anchor spacing and edge distance CEB [9.3.4]

$\psi_{h,V,z}$  1,0 Factor related to the foundation thickness CEB [9.3.4.(c)]

$\psi_{s,V,z}$  0,9 Factor related to the influence of edges parallel to the shear load direction CEB [9.3.4.(d)]

$\psi_{ec,V}$  1,0 Factor taking account a group effect when different shear loads are CEB

$V_{Rk,c}$	316 [kN]	Characteristic resistance of an anchor	CEB [9.3.4.(a)]
$\psi_{0,z}$	0,07	acting on the individual anchors in a group	[9.3.4.(e)]
$\psi_{\alpha,v}$	1,0	Factor related to the angle at which the shear load is applied	CEB [9.3.4.(f)]
$\psi_{ucr,v,z}$	1,0	Factor related to the type of edge reinforcement used	CEB [9.3.4.(g)]
$\gamma_{Mc}$	2,1	Partial safety factor	CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z} \cdot \psi_{A,v,z} \cdot \psi_{h,v,z} \cdot \psi_{s,v,z} \cdot \psi_{ec,v,z} \cdot \psi_{\alpha,v,z} \cdot \psi_{ucr,v,z} / \gamma_{Mc}$$

$$F_{v,Rd,c,z} = 92,21 \text{ [kN]} \quad \text{Concrete resistance for edge failure CEB [9.3.1]}$$

### SPLITTING RESISTANCE

$$C_{f,d} = 0,30 \quad \text{Coeff. of friction between the base plate and concrete [6.2.2.(6)]}$$

$$N_{c,Ed} = 0,00 \text{ [kN]} \quad \text{Compressive force [6.2.2.(6)]}$$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

$$F_{f,Rd} = 0,00 \text{ [kN]} \quad \text{Slip resistance [6.2.2.(6)]}$$

### BEARING PRESSURE OF THE WEDGE ONTO CONCRETE

$$F_{v,Rd,wg,y} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wy} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

$$F_{v,Rd,wg,y} = 350,00 \text{ [kN]} \quad \text{Resistance for bearing pressure of the wedge onto concrete}$$

$$F_{v,Rd,wg,z} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wz} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

$$F_{v,Rd,wg,z} = 192,50 \text{ [kN]} \quad \text{Resistance for bearing pressure of the wedge onto concrete}$$

### SHEAR CHECK

$$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd,y}, F_{v,Rd,smr}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = 517,04 \text{ [kN]} \quad \text{Connection resistance for shear CEB [9.3.1]}$$

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	$0,13 < 1,00$	verified (0,13)
$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,smr}, F_{v,Rd,cpr}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,z} = 359,54$ [kN]	Connection resistance for shear	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,68 < 1,00$	verified (0,68)
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,81 < 1,00$	verified (0,81)

Stiffener check

**Stiffener parallel to the web (along the extension of the column web)**

$M_1 = 0,00$	[kN*m]	Bending moment acting on a stiffener	
$Q_1 = 0,00$	[kN]	Shear force acting on a stiffener	
$z_s = 337$	[mm]	Location of the neutral axis (from the plate base)	
$I_s = \frac{686686}{600}$	[mm <sup>4</sup> ]	Moment of inertia of a stiffener	
$\sigma_d = 0,00$	[MPa]	Normal stress on the contact surface between stiffener and plate	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_g = 0,00$	[MPa]	Normal stress in upper fibers	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\tau = 0,00$	[MPa]	Tangent stress in a stiffener	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_z = 0,00$	[MPa]	Equivalent stress on the contact surface between stiffener and plate	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]

$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp} / \gamma_{M0}) \leq 1,0$ (6.1)	$0,00 < 1,00$	verified (0,00)
--	---------------	-----------------

Welds between the column and the base plate

$\sigma_{\perp} = 0,00$	[MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} = 0,00$	[MPa]	Perpendicular tangent stress	[4.5.3.(7)]

Welds between the column and the base plate

$$\sigma_{\perp} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{yII} = 11,29 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress parallel to } V_{j,Ed,y} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{zII} = 36,69 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress parallel to } V_{j,Ed,z} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\beta_W = 0,90 \quad \text{Resistance-dependent coefficient} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,00)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,04 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,04)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{yII}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,15 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,15)$$

Vertical welds of stiffeners

**Stiffener parallel to the web (along the extension of the column web)**

$$\sigma_{\perp} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{\perp} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{II} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Parallel tangent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\sigma_z = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Total equivalent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\beta_W = 0,90 \quad \text{Resistance-dependent coefficient} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,00)$$

Transversal welds of stiffeners

**Stiffener parallel to the web (along the extension of the column web)**

$$\sigma_{\perp} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{\perp} = 0,00 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{II} = 11,29 \text{ [MPa]} \quad \text{Parallel tangent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\sigma_z = 19,55 \text{ [MPa]} \quad \text{Total equivalent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\beta_W = 0,90 \quad \text{Resistance-dependent coefficient} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,04 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,04)$$

Weakest component:

## ANCHOR BOLT - SHEAR - WITH LEVER ARM

**Connection conforms to the code**

Ratio 0,81

**11.9 Spoj stope sekundarnog stupa**

Mjerodavne sile za dimenzioniranje su poprečna i uzdužna reakcija sekundarnog stupa:

$$V_{Ed} = 26,40 \text{ kN}$$

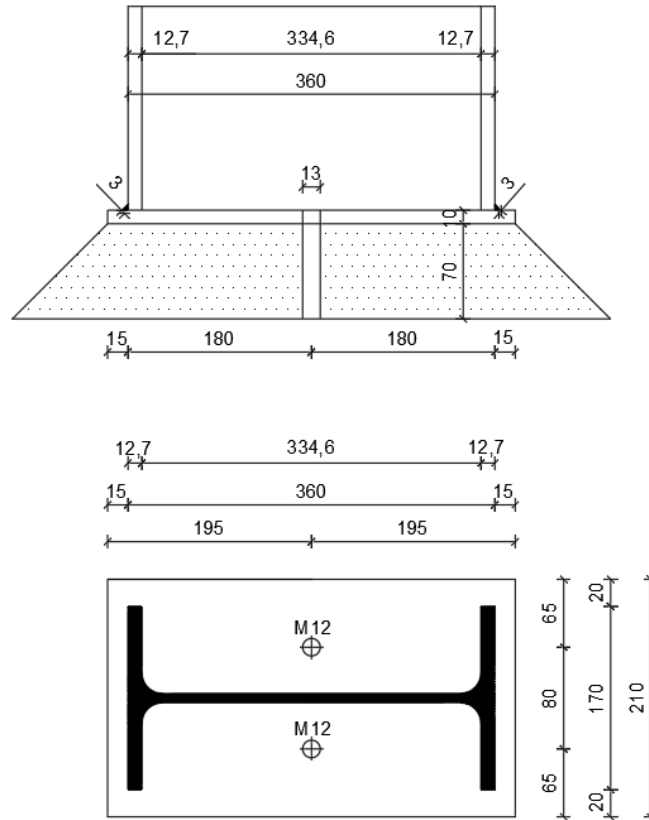
$$N_{Ed} = 40,90 \text{ kN}$$

Pravila za dimenzioniranje spoja: Zavar ne smije biti najslabija komponenta.

Odabrano: 2 vijka M14, ploča debljine 10 mm

$$e_1 = 65 \text{ mm}; e_2 = 195 \text{ mm}; p_1 = 80 \text{ mm}$$





Slika 143.: Spoj sekundarnog stupa s tlom

Otpornost vijaka na odrez

Računska otpornost jednog vijka

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_V \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 115}{1,25} = 44,160 \text{ kN}$$

$\alpha_V = 0,6$  za vijke klase 8.8

Računska otpornost

$$\frac{V_{Ed}}{\Sigma F_{v,Rd}} = \frac{26,4}{2 \times 44,16} = 0,30 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{d_0}; \frac{p_1}{d_0} - \frac{1}{2}; 3 \frac{f_{ub}}{f_u}; 3,0\right) = \min\left(\frac{65}{13}; \frac{80}{13} - \frac{1}{2}; 3 \frac{800}{490}; 3,0\right)$$

$$\alpha_b = 3,0$$

**NAPOMENA (prema starim normama  $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$ )**

$k_m = 1$  za čelik klase do S460

**NAPOMENA (prema starim normama**

$$\mathbf{k_1 = \min\left(2, 8 \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0} - 1, 7; 1, 4 \frac{p_2}{d_0}; 2, 5\right)}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_m \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \times 3,0 \times 490 \times 14 \times 10}{1,25} = 164,64 \text{ kN}$$

$$\sum F_{b,Rd} = 2 \times 164,64 = 329,28 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{\sum F_{b,Rd}} = \frac{26,4}{329,28} = 0,08 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na poprečno opterećenje

**(NAPOMENA: Zahtijevane provjere za poprečno opterećenje pričvršćivača su slom čelika bez kraka sile, slom čelika s krakom sile, slom betona polugom i slom ruba betona. Budući da su izrazi za navedene provjere dane samo u starim normama, otpornost na poprečno opterećenje će se proračunati u Robotu koji koristi stare norme [25].)**

Otpornost zavara

Duljina zavora (IPE 360):  $L = 2 \times 170 + 4 \times 12,7 + 2 \times 162 + 2 \times 334,6 = 1384 \text{ mm}$

Pretpostavljena debljina zavora: 5 mm

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w} \times a \times L / \gamma_{M2} = \frac{490}{\sqrt{3} \times 0,9} \times 5 \times 1384 / 1,25 = 1740,2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{26,4}{1740,2} = 0,015 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

**NAPOMENA (isti izraz kao u starim normama)**

Otpornost podložne ploče

$$A_{netto} = (210 - 2 \cdot 13) \times 10 = 1840 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{netto} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 1840 \times 490}{1,25} = 649,15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{26,4}{649,15} = 0,04 < 1,0 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$



Robot Structural Analysis Professional 2023

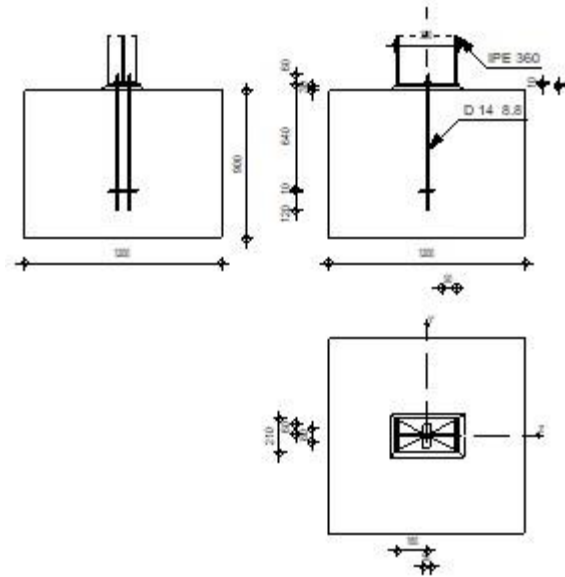
**Pinned column base design**

Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + CEB Design Guide:

Design of fastenings in concrete



Ratio  
**0,80**



## General

Connection no.: 3

Connection name: Pinned column base

## Geometry

### Column

Section: IPE 360

$L_c = 12,00$  [m] Column length

$a = 0,0$  [Deg] Inclination angle

$h_c = 360$  [mm] Height of column section

$b_{fc} = 170$  [mm] Width of column section

$t_{wc} = 8$  [mm] Thickness of the web of column section

$t_{fc} = 13$  [mm] Thickness of the flange of column section

$r_c = 18$  [mm] Radius of column section fillet

$A_c = 7270$  [mm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a column

$I_{yc} = 162700000$  [mm<sup>4</sup>] Moment of inertia of the column section

Material: S355

$f_{yc} = 355,00$  [MPa] Resistance

$f_{uc} = 490,00$  [MPa] Yield strength of a material

### Column base

$l_{pd} = 390$  [mm] Length

$b_{pd} = 210$  [mm] Width

$t_{pd} = 10$  [mm] Thickness

Material: S355

$f_{ypd} = 355,00$  [MPa] Resistance

$f_{upd} = 490,00$  [MPa] Yield strength of a material

### Anchorage

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class = 8.8 Anchor class

$f_{yb} = 640,00$  [MPa] Yield strength of the anchor material

$f_{ub} = 800,00$  [MPa] Tensile strength of the anchor material

$d = 14$  [mm] Bolt diameter

$A_s = 115$  [mm<sup>2</sup>] Effective section area of a bolt

$A_v = 154$  [mm<sup>2</sup>] Area of bolt section

$n = 2$  Number of bolt rows

$e_v = 80$  [mm] Vertical spacing

### Anchor dimensions

$L_1 = 60$  [mm]

$L_2 = 640$  [mm]

$L_3 = 120$  [mm]

### Anchor plate

$l_p = 100$  [mm] Length

$b_p = 100$  [mm] Width

**Anchor plate**

$l_p = 100$  [mm] Length

$t_p = 10$  [mm] Thickness

Material: STEEL 43-245

$f_y = 245,00$  [MPa] Resistance

**Washer**

$l_{wd} = 50$  [mm] Length

$b_{wd} = 60$  [mm] Width

$t_{wd} = 10$  [mm] Thickness

**Material factors**

$g_{M0} = 1,00$  Partial safety factor

$g_{M2} = 1,25$  Partial safety factor

$g_C = 1,50$  Partial safety factor

**Spread footing**

$L = 1200$  [mm] Spread footing length

$B = 1200$  [mm] Spread footing width

$H = 900$  [mm] Spread footing height

**Concrete**

Class C25

$f_{ck} = 25,00$  [MPa] Characteristic resistance for compression

**Grout layer**

$t_g = 30$  [mm] Thickness of leveling layer (grout)

$f_{ck,g} = 12,00$  [MPa] Characteristic resistance for compression

$C_{f,d} = 0,30$  Coeff. of friction between the base plate and concrete

**Welds**

$a_p = 5$  [mm] Footing plate of the column base

## Loads

Case: Manual calculations.

$$N_{j,Ed} = -40,90 \text{ [kN]} \quad \text{Axial force}$$

$$V_{j,Ed,y} = 26,40 \text{ [kN]} \quad \text{Shear force}$$

## Results

### Compression zone

#### COMPRESSION OF CONCRETE

$$f_{cd} = 16,67 \text{ [MPa]} \quad \text{Design compressive resistance} \quad \text{EN 1992-1:[3.1.6.(1)]}$$

$$f_j = 33,33 \text{ [MPa]} \quad \text{Design bearing resistance under the base plate} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$c = t_p \cdot \ddot{O}(f_{yp}/(3 \cdot f_j \cdot g_{MO}))$$

$$c = 19 \text{ [mm]} \quad \text{Additional width of the bearing pressure zone} \quad [6.2.5.(4)]$$

$$b_{eff} = 47 \text{ [mm]} \quad \text{Effective width of the bearing pressure zone under the flange} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$l_{eff} = 208 \text{ [mm]} \quad \text{Effective length of the bearing pressure zone under the flange} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$A_{c0} = 9666 \text{ [mm}^2] \quad \text{Area of the joint between the base plate and the foundation} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$A_{c1} = 8699 \text{ [mm}^2] \quad \text{Maximum design area of load distribution} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$F_{rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \ddot{O}(A_{c1}/A_{c0}) \leq 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd}$$

$$F_{rd,u} = 483,29 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of concrete} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$b_j = 0,67 \quad \text{Reduction factor for compression} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$f_{jd} = b_j \cdot F_{rd,u} / (b_{eff} \cdot l_{eff})$$

$$f_{jd} = 33,33 \text{ [MPa]} \quad \text{Design bearing resistance} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$A_{c,n} = 32896 \text{ [mm}^2] \quad \text{Bearing area for compression} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} \cdot f_{jd}$$

$$F_{c,Rd,n} = 1096,53 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of concrete for compression} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

**RESISTANCES OF SPREAD FOOTING IN THE COMPRESSION ZONE**

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$$N_{j,Rd} = 1096,53 \text{ [kN]} \text{ Resistance of a spread footing for axial compression} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

**Connection capacity check**

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0,04 < 1,00$	verified	(0,04)
---------------------------------------	---------------	----------	--------

**Shear****BEARING PRESSURE OF AN ANCHOR BOLT ONTO THE BASE PLATE****Shear force  $V_{j,Ed,y}$** 

$$a_{d,y} = 1,3 \text{ Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear} \quad [Table 3.4]$$

$$a_{b,y} = 1,0 \text{ Coeff. for resistance calculation } F_{1,vb,Rd} \quad [Table 3.4]$$

$$k_{1,y} = 2,5 \text{ Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear} \quad [Table 3.4]$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} * a_{b,y} * f_{up} * d * t_p / g_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = 137,2 \text{ [kN]} \text{ Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate} \quad [6.2.2.(7)]$$

 **SHEAR OF AN ANCHOR BOLT**

$$a_b = 0,25 \text{ Coeff. for resistance calculation } F_{2,vb,Rd} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$A_{vb} = 154 \text{ [mm}^2\text{]} \text{ Area of bolt section} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$f_{ub} = 800,00 \text{ [MPa]} \text{ Tensile strength of the anchor material} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$g_{M2} = 1,25 \text{ Partial safety factor} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$F_{2,vb,Rd} = a_b * f_{ub} * A_{vb} / g_{M2}$$

$$F_{2,vb,Rd} = 24,43 \text{ [kN]} \text{ Shear resistance of a bolt - without lever arm} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$a_M = 2,0 \text{ Factor related to the fastening of an anchor in the foundation} \quad [9.3.2.2]$$

$$M_{Rk,S} = 0,2 \text{ [kN*m]} \text{ Characteristic bending resistance of an anchor} \quad \text{CEB}$$



$a_M = 2,0$  Factor related to the fastening of an anchor in the foundation CEB  
 $= 0$  [9.3.2.2]

$= 6$  ] [9.3.2.2]

$l_{sm} = 42$  [mm] Lever arm length CEB  
 [9.3.2.2]

$g_{Ms} = 1,2$  Partial safety factor CEB  
 $= 0$  [3.2.3.2]

$$F_{v,Rd,sm} = a_M * M_{Rk,s} / (l_{sm} * g_{Ms})$$

$F_{v,Rd,sm} = 10,26$  [kN] Shear resistance of a bolt - with lever arm CEB [9.3.1]

### CONCRETE PRY-OUT FAILURE

$N_{Rk,c} = 341,04$  [kN] Design uplift capacity CEB [9.2.4]

$k_3 = 2,00$  Factor related to the anchor length CEB [9.3.3]

$g_{Mc} = 2,16$  Partial safety factor CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,cp} = k_3 * N_{Rk,c} / g_{Mc}$$

$F_{v,Rd,cp} = 315,78$  [kN] Concrete resistance for pry-out failure CEB [9.3.1]

### CONCRETE EDGE FAILURE

#### Shear force $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c} = 294$  [kN] Characteristic resistance of an anchor CEB  
 $V_y^0 = 1,94$  [N] [9.3.4.(a)]

$\gamma_{A,V,y} = 0,5$  Factor related to anchor spacing and edge distance CEB  
 $= 4$  [9.3.4]

$\gamma_{h,V,y} = 1,0$  Factor related to the foundation thickness CEB  
 $= 0$  [9.3.4.(c)]

$\gamma_{s,V,y} = 0,8$  Factor related to the influence of edges parallel to the shear load CEB  
 $= 6$  direction [9.3.4.(d)]

$\gamma_{ec,V,y} = 1,0$  Factor taking account a group effect when different shear loads are CEB

$V_{Rk,c}$	294 [kN]	Characteristic resistance of an anchor	CEB [9.3.4.(a)]
$\gamma_0$	= 1,0	acting on the individual anchors in a group	[9.3.4.(e)]
$\gamma_{a,v,y}$	1,0	Factor related to the angle at which the shear load is applied	CEB [9.3.4.(f)]
$\gamma_{ucr,v,y}$	1,0	Factor related to the type of edge reinforcement used	CEB [9.3.4.(g)]
$g_{Mc}$	2,1	Partial safety factor	CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y} \cdot \gamma_0 \cdot \gamma_{a,v,y} \cdot \gamma_{h,v,y} \cdot \gamma_{s,v,y} \cdot \gamma_{ec,v,y} \cdot \gamma_{a,v,y} \cdot \gamma_{ucr,v,y} / g_{Mc}$$

$$F_{v,Rd,c,y} = 62,96 \text{ [kN]} \quad \text{Concrete resistance for edge failure} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

### SPLITTING RESISTANCE

$$C_{f,d} = 0,30 \quad \text{Coeff. of friction between the base plate and concrete} \quad [6.2.2.(6)]$$

$$N_{c,Ed} = 40,90 \text{ [kN]} \quad \text{Compressive force} \quad [6.2.2.(6)]$$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

$$F_{f,Rd} = 12,27 \text{ [kN]} \quad \text{Slip resistance} \quad [6.2.2.(6)]$$

### SHEAR CHECK

$$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd,y}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = 32,80 \text{ [kN]} \quad \text{Connection resistance for shear} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0,80 < 1,00 \quad \text{verified} \quad (0,80)$$

### Welds between the column and the base plate

$$s^{\perp} = 3,25 \text{ [MPa]} \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$t^{\perp} = 3,25 \text{ [MPa]} \quad \text{Perpendicular tangent stress} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$t_{y||} = 7,95 \text{ [MPa]} \quad \text{Tangent stress parallel to } V_{j,Ed,y} \quad [4.5.3.(7)]$$

$s^{\wedge} =$	3,25 [MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3.(7)]
$t_{zII} =$	0,00 [MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$b_W =$	0,90	Resistance-dependent coefficient	[4.5.3.(7)]
$s^{\wedge} / (0.9 * f_u / g_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)		0,01 < 1,00	verified (0,01)
$\sqrt{(s^{\wedge 2} + 3.0 (t_{yII}^2 + t^{\wedge 2}))} / (f_u / (b_W * g_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,03 < 1,00	verified (0,03)
$\sqrt{(s^{\wedge 2} + 3.0 (t_{zII}^2 + t^{\wedge 2}))} / (f_u / (b_W * g_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,01 < 1,00	verified (0,01)

**Weakest component:**

ANCHOR BOLT - SHEAR - WITH LEVER ARM

**Connection conforms to the code** Ratio 0,80

## 12 ISKAZ MATERIJALA

Tablica 29.: Iskaz materijala za elemente hale

POZ	PROFIL	ELEMENT	DULJINA (m)	SPEC.MAS A (kg/m)	BROJ KOMAD A	MASA (kg)
1	HEA 180	gornji pojas	3,42	35,5	60	7284,60
2	HEA 180	gornji pojas	6,35	35,5	60	13525,50
3	HEA 180	gornji pojas	5,128	35,5	30	5461,32
4	HEA 180	donji pojas	3,42	35,5	60	7284,60
5	HEA 180	donji pojas	6,35	35,5	60	13525,50
6	HEA 180	donji pojas	5,128	35,5	30	5461,32
I1	60x60x4	ispuna	0,997	6,93	180	1243,66
I2	60x60x4	ispuna	1,692	6,93	240	2814,13
I3	60x60x4	ispuna	0,695	6,93	120	577,96
I4	60x60x4	ispuna	1,438	6,93	300	2989,60
C1	IPE 200	podrožnica	12	22,4	232	62361,60
C2	IPE 200	podrožnica	4	22,4	29	2598,40
S1	IPE 360	sekundarni stup (uzduž)	12	57,1	32	21926,40
S2	IPE 360	sekundarni stup (zabat)	12,74	57,1	8	5819,63
S3	IPE 360	sekundarni stup (zabat)	13,47	57,1	8	6153,10
S4	IPE 360	sekundarni stup (zabat)	8,25	57,1	4	1884,30
S5	IPE 360	sekundarni stup (zabat)	8,16	57,1	4	1863,74

D1	CHS 76,1x3,2	dijagonala vl.-tl. (HPS)	4,135	5,75	144	3423,78
D2	CHS 70x4	dijagonala vl.-tl. (HUS)	4,135	6,51	88	2368,86
D3	CHS 193,7x6,3	dijagonala vl.-tl. (VUS)	9,33	29,1	4	1086,01
D4	CHS 193,7x6,3	dijagonala vl.-tl. (VUS)	4,36	29,1	8	1015,01
Z1	Ø12	zatezaljke	2,35	0,911	292	625,13
P1	IPE 200	prečke (zabat)	4,17	22,4	16	1494,53
P2	IPE 200	prečke (uzduž)	3,57	22,4	56	4478,21
U1	UPN 100	pridrzanje podrožnica (rub)	0,235	10,9	28	71,72
G1	HEA 700	glavni stup	12	204	45	110160,00
K1	HEB 300	nosač kranske staze	0,9	117	60	6318,00
K2	HEA 450	kranska staza	100	140	4	56000,00
N1		kran	23,4	644,9	2	30181,32
V1	CHS 70x4	vertikala HUS-a	1,89	6,51	44	541,3716
Ukupno						380539,30
Utrošak materijala na priključcima (vijci i varovi)						0,05
Ukupno s priključcima						399566,27
Površina hale (m2)						5000
Volumen hale (m3)						66462,50

---

Utrošak čelika po m <sup>2</sup>	79,91
Utrošak po m <sup>3</sup>	6,01

## 13 ZAKLJUČAK

U radu se analizira dvobrodna hala dimenzija 2x25x100 m s po jednim kranom nosivosti 350 kN u svakom brodu. Glavni nosivi sustav čine dvozglobni okviri s rešetkastom prečkom. Analiza opterećenja je provedena prema novoj generaciji europske norme te je dana usporedba s izrazima u starom Eurokodu ukoliko postoji razlika. Budući da nova generacija europske norme ulazi u primjenu u narednim godinama, ovaj rad je služio kao dobra priprema za budući rad u praksi kada će se nove norme primjenjivati. Usporedbom starih i novih normi te njihove primjene u analizi i proračunu dolazimo do zaključka da promjene ne utječu značajno na dobivene rezultate te se više odnose na pooštavanje ili ublažavanje pojedinih uvjeta.

U analizi su razmatrana opterećenja vjetra, snijega, kрана te vlastite težine čelične konstrukcije, pokrova i instalacija. Logičan redoslijed dimenzioniranja bi bio od vrha prema temelju, ali budući da su u ovom radu prisutni kranski nosači, najprije su oni dimenzionirani. Kranski nosači imaju karakterističan način proračuna budući da osim standardnih sila koje djeluju, tu je prisutno opterećenje od umora. Nadalje, dobivene reakcije kranskog nosača su kasnije bitne radi dimenzioniranja konzolnog nosača i okvira na koji su smješteni konzolni nosači za kransku stazu. Sljedeći korak je bilo dimenzioniranje podrožnice čije reakcije su također bitne dalje za proračun okvira. Okvir je proračunat elastičnom analizom 1. reda budući da je klasificiran kao nepomični. Stupovi okvira su jednodijelni, a poseban proračun je proveden za vanjske i unutarnje stupove budući da je unutarnji stup opterećeniji jer prenosi reakcije oba kрана. Nakon toga je provedeno dimenzioniranje horizontalnih stabilizacijskih vezova. Mjerodavno djelovanje za stabilizacijske vezove je djelovanje vjetra. Na samom kraju su dimenzionirani sekundarni stupovi. Svi elementi su zadovoljili dimenzioniranje na sile iz statičkog proračuna. Vrlo važan dio proračuna je i proračun na dinamičko djelovanje, odnosno na potres. Pri analizi na potresno djelovanje provedena je modalna analiza za onaj broj modova za koje se postiže aktiviranje 90% mase u oba smjera djelovanja potresa. U završnom dijelu provedeni su dokazi pouzdanosti karakterističnih priključaka. Radu su priloženi i nacrti, dispozicijsko rješenje konstrukcije, pregledni nacrti, te nacrti detalja.

## 14 LITERATURA

- [1] HRN EN 1991-1-3:2012/NA, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja - Opterećenja snijegom - Nacionalni dodatak. .
- [2] prEn 1991-1-3 Eurocode 1 – Actions on structures . Part 1-3: Snow loads
- [3] "HRN EN 1991-1-4, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja- Djelovanja vjetra (En 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)."
- [4] "HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja - Djelovanje vjetra - Nacionalni dodatak."
- [5] prEN 1991-1-4 (CEN-TC 250-SC 1\_N2136:DECISION 259 (3-2023))
- [6] D. Boris Androić, Darko Dujmović, Metalne Konstrukcije 3. Zagreb: IA projektiranje, 1998.
- [7] "HRN EN 1998-1:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009)."
- [8] prEN 1998-1-1 Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 1-1: General rules and seismic action
- [9] prEN 1998-1-2 Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 1-2: Buildings
- [10] prEN 1991-1-1 Eurocode 1 -Actions on structures – Part 1-1: Specific weight of materials, self-weight of construction works and imposed loads on buildings
- [11] "HRN EN 1991-3:2012, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - 3. dio: Djelovanja prouzročena kranovima i strojevima (EN 1991-3:2006/AC:2012)."
- [12] "HRN EN 1993-1-5:2024, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-5: Pločasti konstrukcijski elementi (EN 1993-1-5:2024)."
- [13] "HRN EN 1993-1-5:2014, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-5: Pločasti konstrukcijski elementi (EN 1993-1-5:2006+AC:2009)."
- [14] "HRN EN 1993-1-1:2022, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1993-1-1:2022)."
- [15] "HRN EN 1993-1-1:2014, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1993-1-1:2005+AC:2009)."
- [16] "HRN EN 1993-1-9:2014, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-9: Zamor (EN 1993-1-9:2005+AC:2009)."
- [17] "HRN EN 14399-1, Visokočvrsti konstrukcijski predopterećeni vijčani spojevi - Dio 1: Opći zahtjevi."



- 
- [18] "HRN EN 14399-3, Visokočvrsti konstrukcijski predopterećeni vijčani spojevi - Dio 3: Sustav HR – Spojevi vijka sa šesterokutnom glavom i šesterokutne matice."
- [19] "HRN EN 1993-6:2014, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija – 6. dio: Konstrukcije kranskih staza (EN 1993-6:2007+AC:2009)."
- [20] "HRN EN 1993-1-8:2024, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-8: Priključci (EN 1993-1-8:2024)."
- [21] "HRN EN 1993-1-8:2014, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-8: Priključci (EN 1993-1-8:2005+AC:2009).
- [22] FprCEN/TS 1993-1-101 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-101: Alternative interaction method for members in bending and compression
- [23] prEn 1991-3 Eurocode 1 – Actions on structures – Part 3: Actions induced by cranes and machines
- [24] prEn 1991-6 Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 6: Crane supporting structures
- [25] "HRN EN 1992-4, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – 4.dio: Projektiranje pričvršćivača ua uporabu u betonu (EN 1992-4:2018).

## 15 POPIS SLIKA

Slika 1.: Karta snježnih područja Republike Hrvatske (Izvor: [1]) .....	6
Slika 2.: Shema opterećenja snijegom s nagomilavanjem i bez nagomilavanja.....	7
Slika 3.: Karta osnovne brzine vjetra Republike Hrvatske (Izvor: [3]).....	9
Slika 4.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 1 .....	10
Slika 5.: Legenda za vertikalne zidove (Izvor: [3]) .....	11
Slika 6.: Grafički prikaz koeficijenta izloženosti (Izvor: [3]).....	12
<b>Slika 7.:</b> Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2]) .....	15
Slika 8.: Tlak na unutarnje površine.....	18
Slika 9.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 1.....	19
Slika 10.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 2.....	20
Slika 11.: Legenda za vertikalne zidove (Izvor: [2]).....	21
Slika 12.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2]) .....	24
Slika 13.: Podtlak na unutarnje površine .....	27
Slika 14.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 2.....	28
Slika 15.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 3.....	29
Slika 16.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2]) .....	33
Slika 17.: Tlak na unutarnje površine .....	35
Slika 18.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 3.....	36
Slika 19.: Shema opterećenja vjetrom slučaj 4.....	37
Slika 20.: Legenda za dvostrešne krovove (Izvor: [2]) .....	41
Slika 21.: Podtlak na unutarnje površine .....	43
Slika 22.: Ukupni tlak vjetra na halu - slučaj 4.....	44
Slika 23.: Shema opterećenja neopterećenog kрана za određivanje najmanjeg opterećenja .....	48
Slika 24.: Shema opterećenja opterećenog kрана za određivanje najvećeg opterećenja ....	51

---

Slika 25.: Opterećenje duž kranske staze.....	55
Slika 26.: Opterećenje poprečno na kransku stazu .....	56
Slika 27.: Sile $S$ i $H_s$ .....	58
Slika 28.: Shema za najveće vertikalno pokretno opterećenje.....	63
Slika 29.: Shema za najmanje vertikalno pokretno opterećenje.....	63
Slika 30.: Shema za horizontalno uzdužno pokretno opterećenje.....	63
Slika 31.: Shema za horizontalno bočno pokretno opterećenje .....	64
Slika 32.: Shema horizontalnog bočnog pokretnog opterećenja uslijed skošenja kрана.....	64
Slika 33.: Statički sustav kranske staze .....	64
Slika 34.: Moment savijanja $M_y$ .....	65
Slika 35.: Poprečna sila $V_z$ .....	65
Slika 36.: Moment savijanja $M_y$ .....	65
Slika 37.: Poprečna sila $V_z$ .....	66
Slika 38.: Moment savijanja $M_y$ .....	66
Slika 39.: Poprečna sila $V_z$ .....	66
Slika 40.: Uzdužna sila $N$ .....	66
Slika 41.: Moment savijanja $M_z$ .....	67
Slika 42.: Poprečna sila $V_y$ .....	67
Slika 43.: Moment savijanja $M_z$ .....	67
Slika 44.: Poprečna sila $V_y$ .....	68
Slika 45.: Ekscentrično djelovanje horizontalnog i vertikalnog opterećenja .....	68
Slika 46.: Dijagram momenata torzije kranske staze .....	69
Slika 47.: Progib kranske staze.....	70
Slika 48.: Poprečni presjek kranske staze.....	77
Slika 49.: Sudjelujuća širina hrpta.....	79
Slika 50.: Sudjelujući presjek .....	82
Slika 51.: Shema opterećenja za torziju pojasnice .....	83
Slika 52.: Sudjelujući presjek .....	86

Slika 53.: Shema opterećenja za ekscentrično djelovanje.....	87
Slika 54.: Statički sustav konzolnog nosača.....	92
Slika 55.: Moment savijanja konzolnog nosača.....	92
Slika 56.: Poprečna sila konzolnog nosača.....	92
Slika 57.: Uzdužna sila konzolnog nosača .....	93
<b>Slika 58.:</b> Poprečni presjek.....	93
Slika 59.: Shema opterećenja za stalno djelovanje .....	103
Slika 60.: Shema opterećenja snijegom .....	104
Slika 61.: Shema opterećenja pritiskajućim vjetrom.....	105
Slika 62.: Shema opterećenja odižućim vjetrom.....	105
<b>Slika 63.:</b> Moment savijanja $M_y$ .....	106
<b>Slika 64.:</b> Moment savijanja $M_z$ .....	107
<b>Slika 65.:</b> Poprečna sila $V_z$ .....	107
<b>Slika 66.:</b> Poprečna sila $V_y$ .....	108
Slika 67.: Ukupni progib .....	108
Slika 68.: Poprečni presjek podrožnice .....	109
Slika 69.: Moment savijanja oko osi $y$ u prvom polju .....	119
Slika 70.: Shema za $c_{my}$ i $c_{mz}$ .....	126
Slika 71.: Shema za $c_{mLT}$ .....	126
Slika 72.: Shema za $c_{my}$ i $c_{mz}$ .....	127
Slika 73.: Shema za $c_{mLT}$ .....	127
Slika 74. Statički sustav okvira .....	128
<b>Slika 75.:</b> Stalno opterećenje .....	129
<b>Slika 76.:</b> Opterećenje kranom simetrično.....	130
Slika 77.: Opterećenje kranom nesimetrično 1 .....	130
Slika 78.: Opterećenje kranom nesimetrično 2 .....	130
Slika 79.: Opterećenje od instalacija.....	131
Slika 80.: Opterećenje od snijega.....	131

---

Slika 81.: Vjetar slučaj 1 .....	132
Slika 82.: Vjetar slučaj 2 .....	133
Slika 83.: Vjetar slučaj 3 .....	134
Slika 84.: Vjetar slučaj 4 .....	135
Slika 85.: Reakcije od stalnog opterećenja .....	137
Slika 86.: Reakcije od instalacija .....	137
Slika 87.: Reakcije od snijega .....	137
Slika 88.: Reakcije od kрана simetrično .....	138
Slika 89.: Reakcije od kрана nesimetrično .....	138
Slika 90.: Pomaci i reakcije za mjerodavnu kombinaciju 121 .....	145
Slika 91.: Pomaci i reakcije za mjerodavnu kombinaciju 132 .....	146
Slika 92.: Pomaci i reakcije za mjerodavnu kombinaciju 235 .....	148
Slika 93.: Najveći progib na sredini rešetke .....	150
Slika 94.: Najveći horizontalni pomak stupa .....	151
Slika 95.: Dijagram uzdužnih sila .....	152
Slika 96.: Dijagram momenata savijanja .....	153
Slika 97.: Dijagram poprečnih sila .....	153
Slika 98.: Prikaz modela pridržanja gornjeg pojasa .....	158
Slika 99.: Prikaz modela pridržanja donjeg pojasa .....	161
Slika 100.: Zamjenski model okvira .....	166
Slika 101.: Moment savijanja stupa .....	171
Slika 102.: Zamjenski model okvira .....	179
Slika 103.: Krutost stupa .....	179
Slika 104.: Moment savijanja stupa .....	183
Slika 105.: Statički sustav horizontalne poprečne stabilizacije .....	189
Slika 106.: Opterećenja na HPS .....	189
Slika 107.: Opterećenja po čvorovima .....	191
Slika 108.: Progib uslijed opterećenja vjetrom .....	191

---

Slika 109.: Dijagram uzdužnih sila.....	191
Slika 110.: Statički sustav dijagonale HPS-a.....	192
Slika 111.: Statički sustav horizontalne uzdužne stabilizacije.....	194
Slika 112.: Opterećenje vjetrom slučaj 3.....	195
Slika 113.: Opterećenje vjetrom slučaj 2.....	196
Slika 114.: Uzdužne sile za opterećenje vjetrom slučaj 3.....	196
Slika 115.: Uzdužne sile za opterećenje vjetrom slučaj 2.....	197
Slika 116.: Statički sustav VUS-a.....	201
Slika 117.: Reakcije HPS-a.....	202
Slika 118.: Mjerodavno horizontalno opterećenje.....	204
Slika 119.: Uzdužne sile VUS-a.....	204
Slika 120.: Statički sustav dijagonale VUS-a.....	205
Slika 121.: Statički sustav sekundarnog stupa.....	208
Slika 122.: Opterećenje na sekundarni stup.....	209
Slika 123.: Dijagrami unutarnjih sila i momenata za pripadno opterećenje.....	210
Slika 124.: Progib sekundarnog nosača.....	220
Slika 125.: Statički sustav sekundarnog stupa.....	221
Slika 126.: Opterećenje na sekundarni stup.....	222
Slika 127.: Dijagrami unutarnjih sila i momenata za pripadno opterećenje.....	223
Slika 128.: Progib sekundarnog stupa.....	233
Slika 129.: 46. mod, 0,56 Hz.....	236
Slika 130.: 68. mod, 1,51 Hz.....	237
Slika 131.: 76. mod, 1,83 Hz.....	237
Slika 132.: Dijagrami uzdužnih sila uslijed potresnog djelovanja.....	238
Slika 133.: Dijagrami poprečnih sila uslijed potresnog djelovanja.....	238
Slika 134.: Dijagrami momenata uslijed potresnog djelovanja.....	238
Slika 135.: Shema priključka dijagonale HUS-a.....	241
Slika 136.: Shema priključka dijagonale HPS-a.....	244

---

Slika 137.: Shema priključka dijagonale VUS-a.....	248
Slika 138.: Shema transportnih gabarita nastavaka rešetkaste prečke.....	251
Slika 139.: Shema nastavka gornjeg pojasa prečke preko čeonih ploča .....	252
Slika 140.: Shema nastavka donjeg pojasa prečke preko čeonih ploča.....	261
Slika 141.: Shema nastavka ispune prečke preko čeonih ploča.....	270
Slika 142.: Spoj glavnog stupa s tlom.....	273
Slika 143.: Spoj sekundarnog stupa s tlom .....	288

## 16 POPIS TABLICA

Tablica 1.: Karakteristična opterećenja snijegom na tlu za različite nadmorske visine i geografske lokacije (Izvor: [1]).....	6
Tablica 2.: Kategorije terena i parametri tla ( Izvor: [2]).....	12
Tablica 3.: Dinamički koeficijenti .....	46
Tablica 4.: Mjerodavna opterećenja na kransku stazu .....	60
Tablica 5.: Karakteristike poprečnog presjeka kranske staze.....	61
Tablica 6.: Djelovanja.....	105
Tablica 7. Kombinacije djelovanja .....	105
Tablica 8.: Slučajevi opterećenja.....	138
Tablica 9.: Kombinacije djelovanja .....	139
Tablica 10.: Kombinacije djelovanja.....	140
Tablica 11.: Kombinacije djelovanja.....	141
Tablica 12.: Kombinacije djelovanja.....	142
Tablica 13.: Kombinacije djelovanja.....	143
Tablica 14.: Poprečni presjek ispune.....	154
Tablica 15.: Poprečni presjek ispune.....	156
Tablica 16.: Poprečni presjek gornjeg pojasa.....	157
Tablica 17.: Poprečni presjek donjeg pojasa .....	160
Tablica 18.: Poprečni presjek vanjskog stupa.....	163
Tablica 19.: Poprečni presjek unutaršnjeg stupa stupa .....	176
Tablica 20.: Poprečni presjek dijagonale HPS-a.....	192
Tablica 21.: Mjerodavne sile za HUS .....	197
Tablica 22.: Poprečni presjek dijagonale HUS-a .....	197
Tablica 23.: Poprečni presjek vertikalne HUS-a .....	199
Tablica 24.: Poprečni presjek dijagonale VUS-a.....	205



Tablica 25.: Poprečni presjek sekundarnog stupa.....	211
Tablica 26.: Poprečni presjek sekundarnog stupa.....	224
Tablica 27.: Rezultati modalne analize .....	235
Tablica 28.: Rezultati modalne analize .....	235
Tablica 29.: Iskaz materijala za elemente hale.....	299

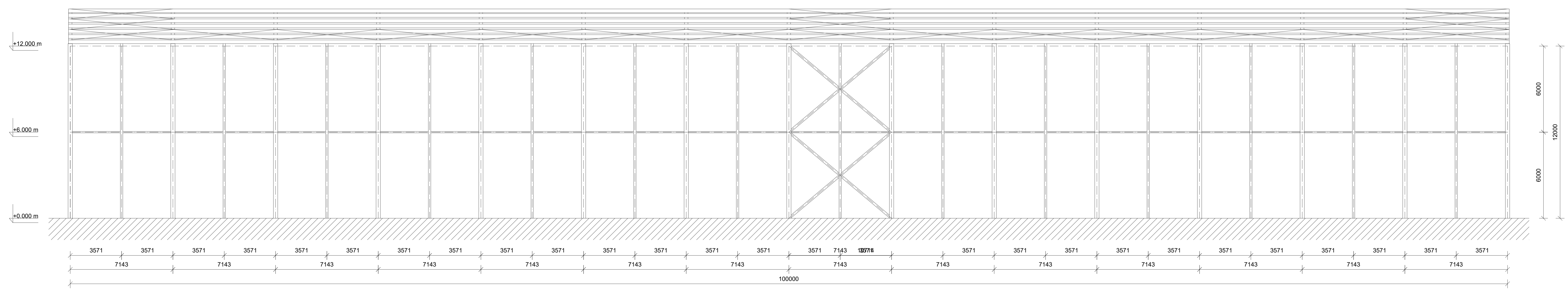
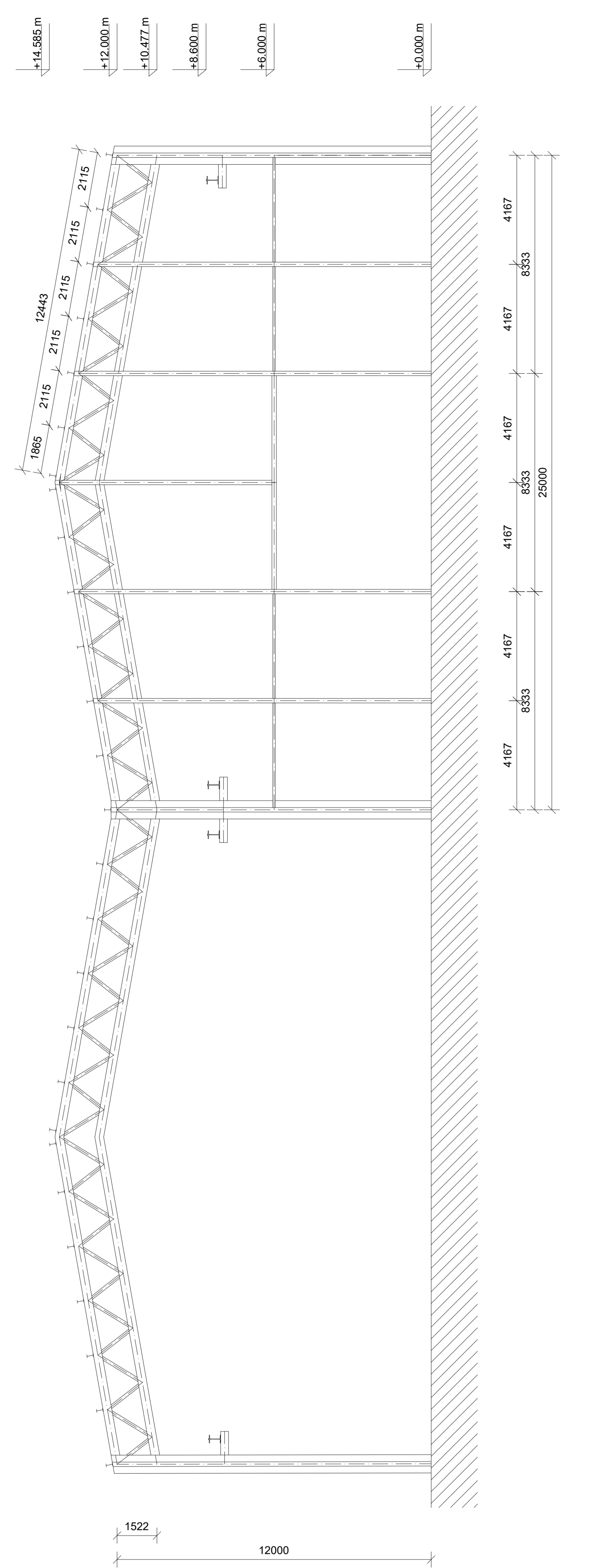
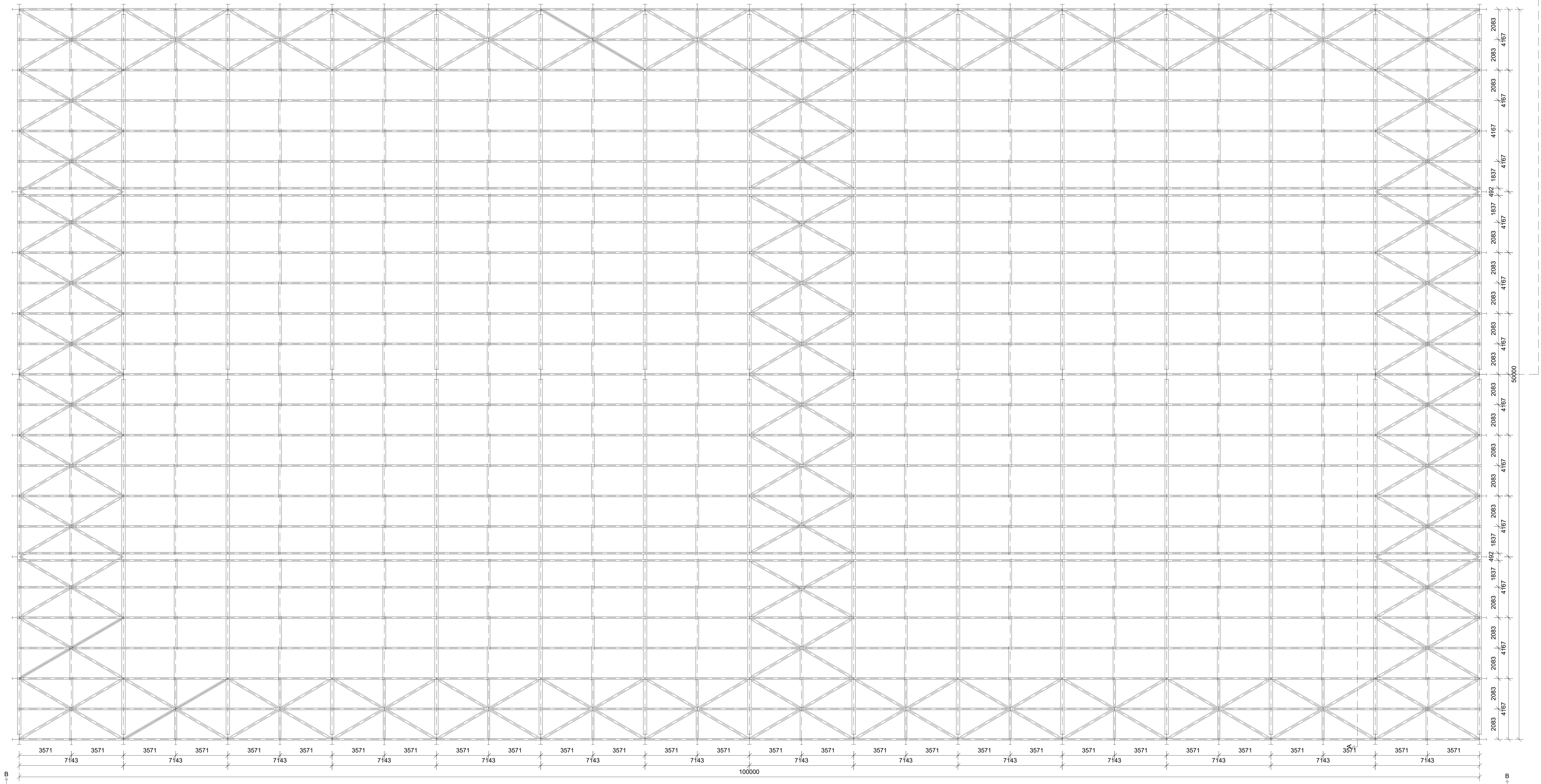
## 17 PRILOZI


### IDEJNI NACRT

- Dispozicija hale MJ 1:100

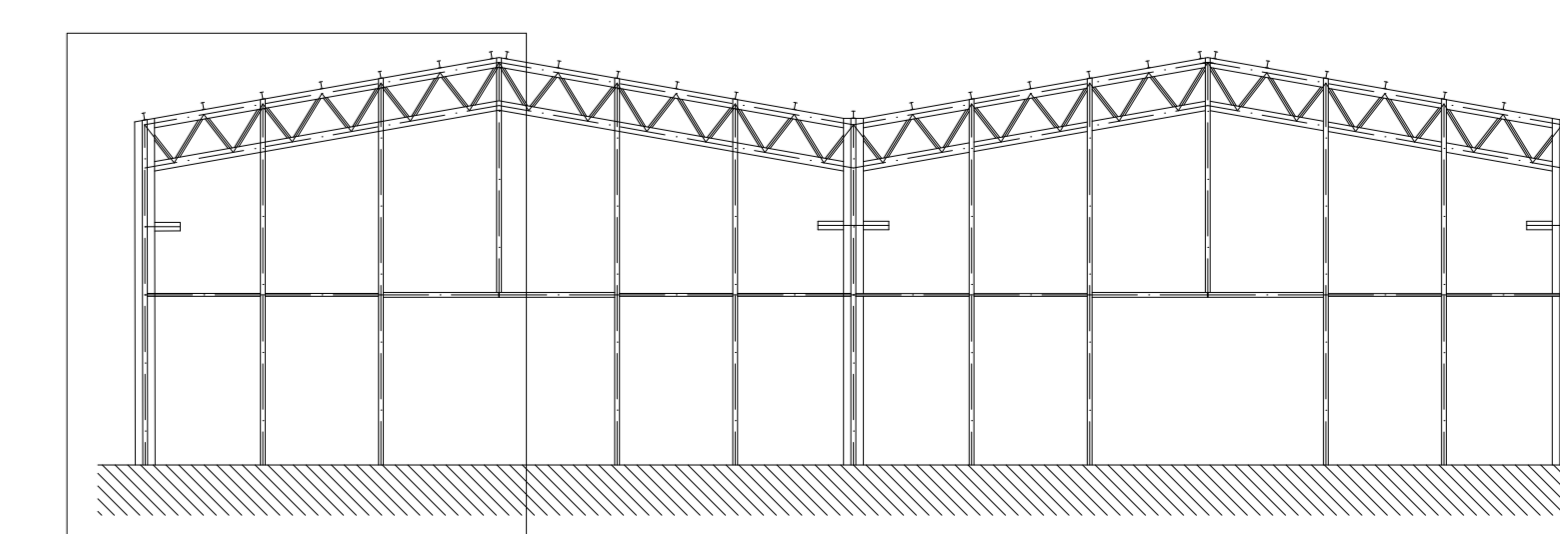
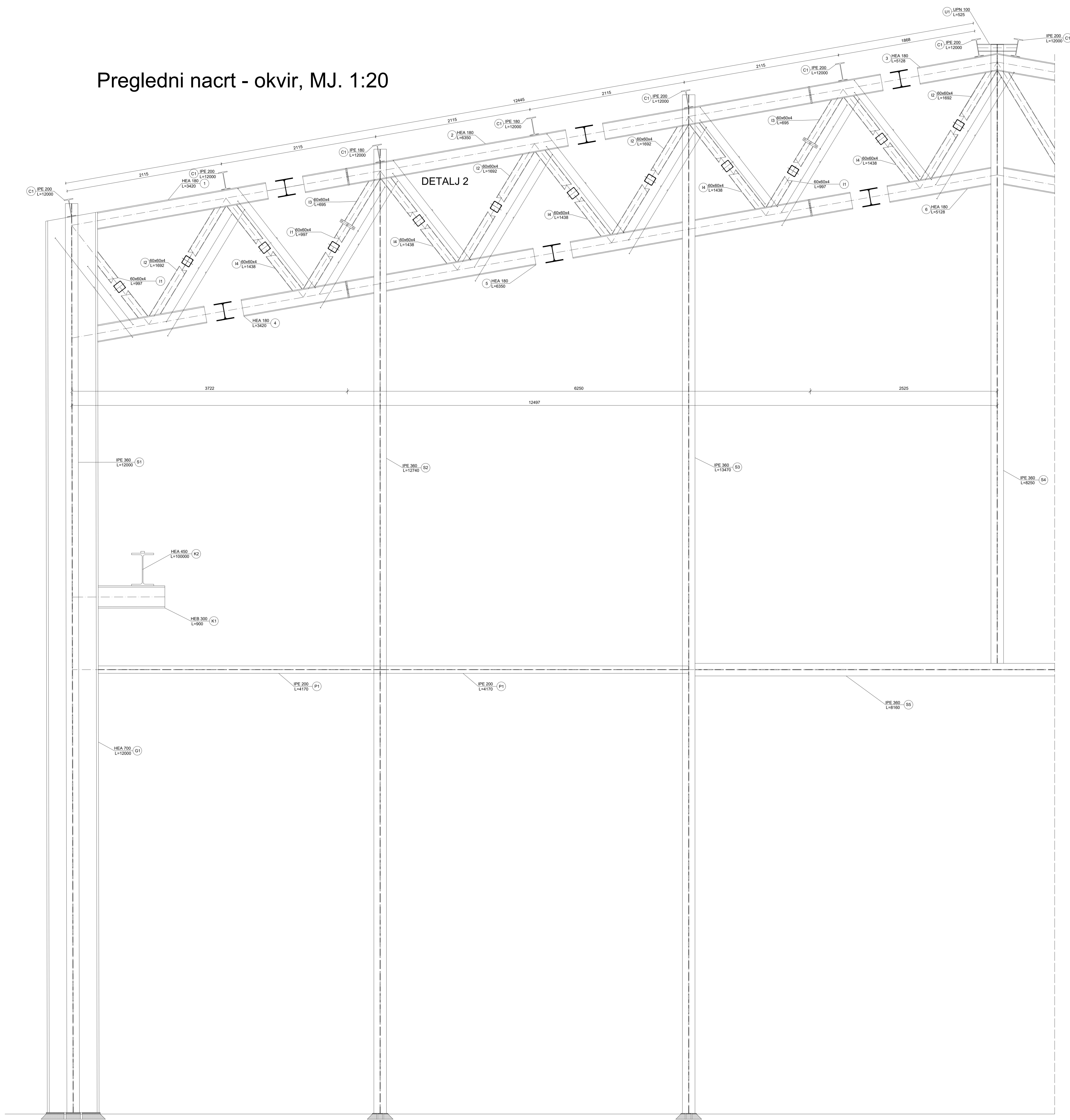
### RADIONIČKI NACRTI

- Okvir MJ 1:20
- Krovna ravnina MJ 1:20
- Vertikalna uzdužna stabilizacija MJ 1:20



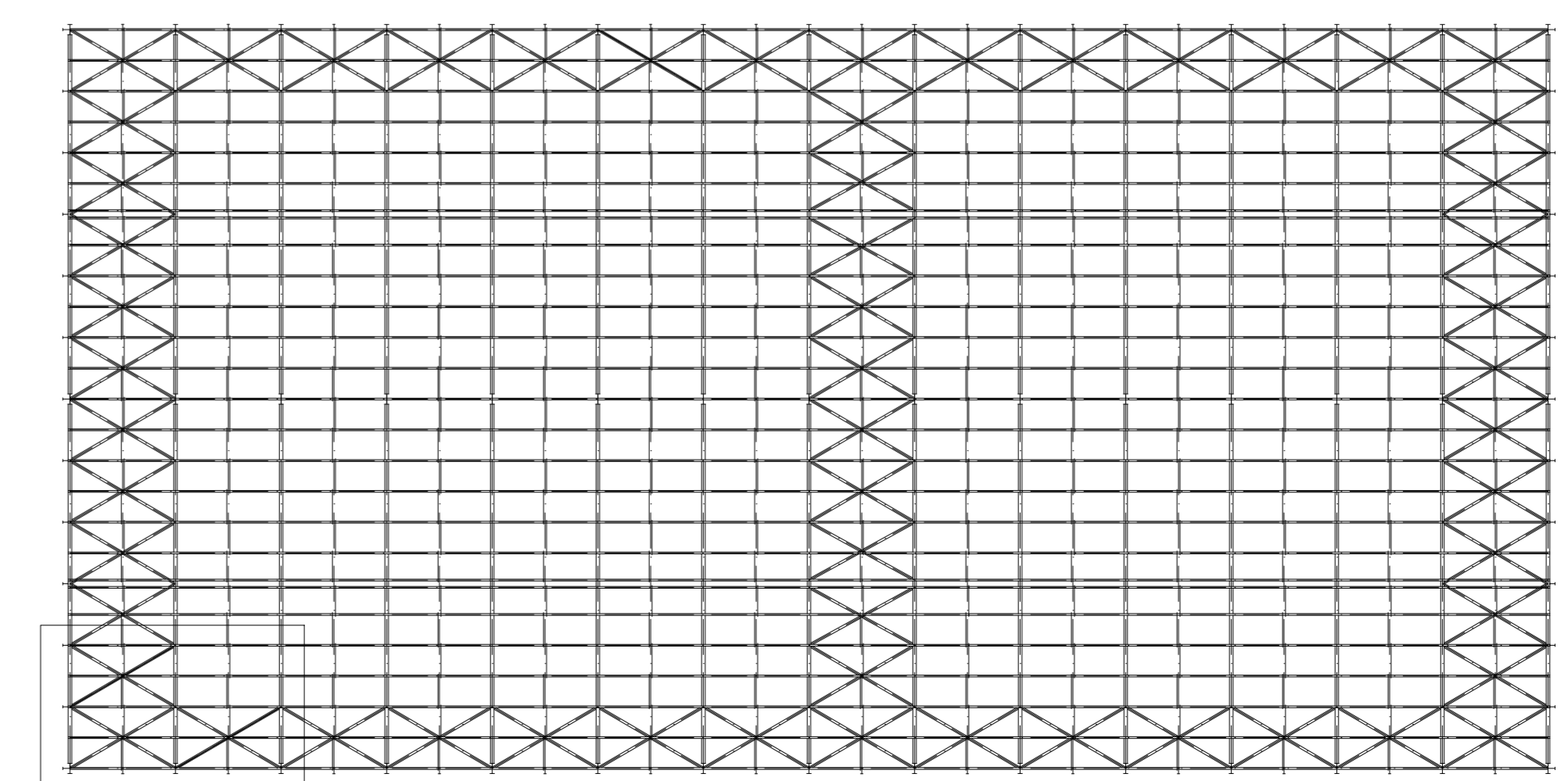
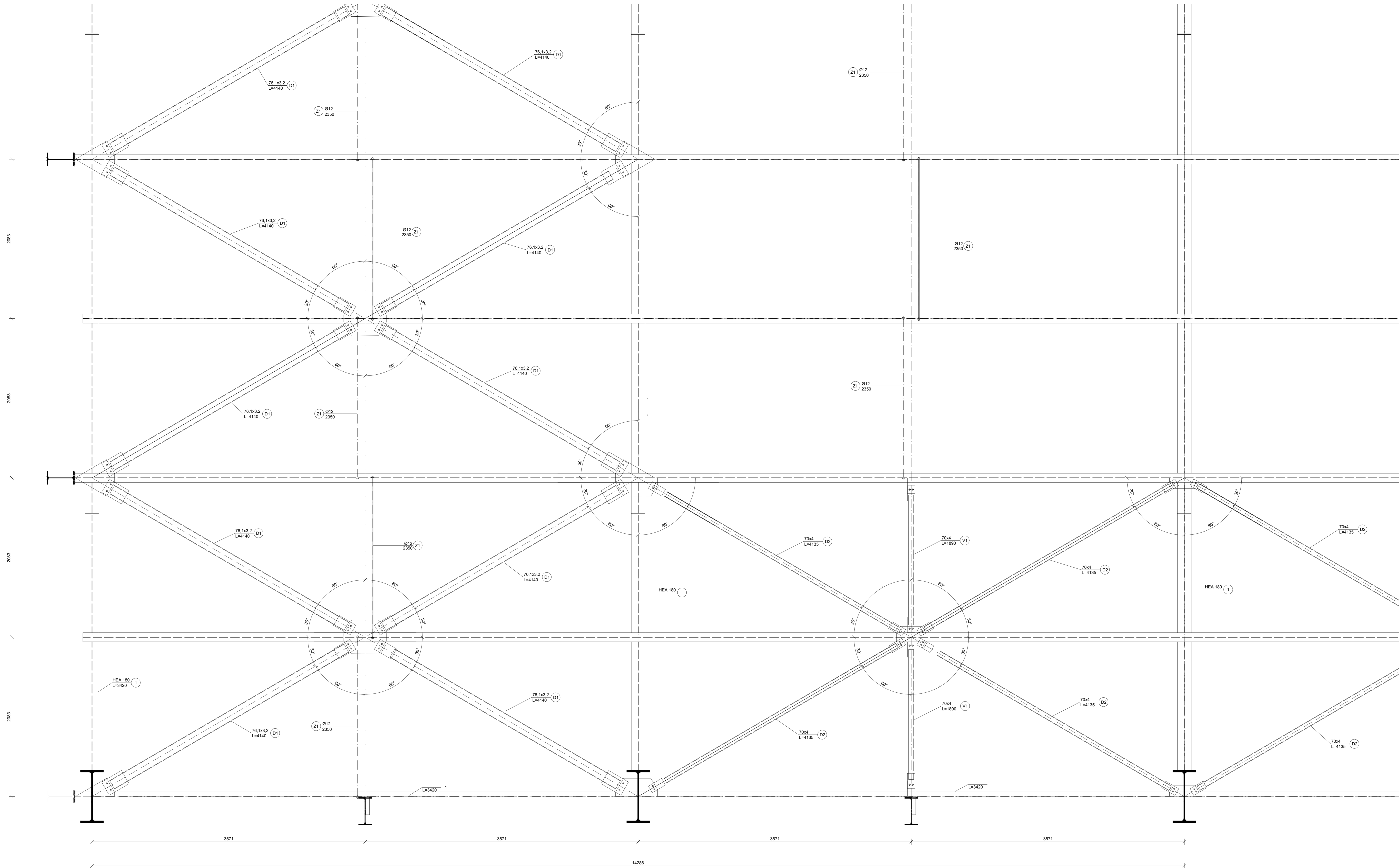
 Adresa: Fra Anđelko Kukuljević 20, Zagreb, HR-10000 Telefon: +385 1 4806 810	
<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
Vrsta rada: IDEJNI PROJEKT	
Vrsta teme: DISPOZICIJA	
Autor: IVAN LUKAČEVIĆ	
Datum: 31.7.2024.	Stranica: 1:100
Datum izdavanja: 2023./2024.	
Dizajnirao: MARINO TOMAS	


Pregledni nacrt - okvir, MJ. 1:20



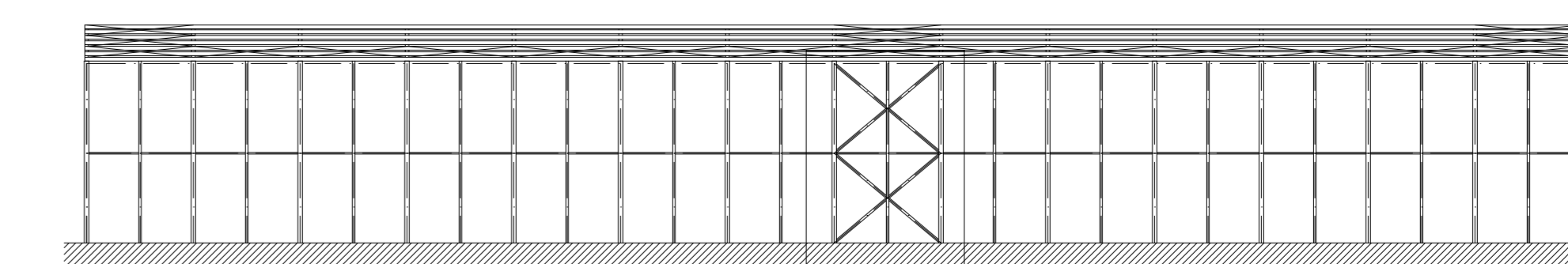
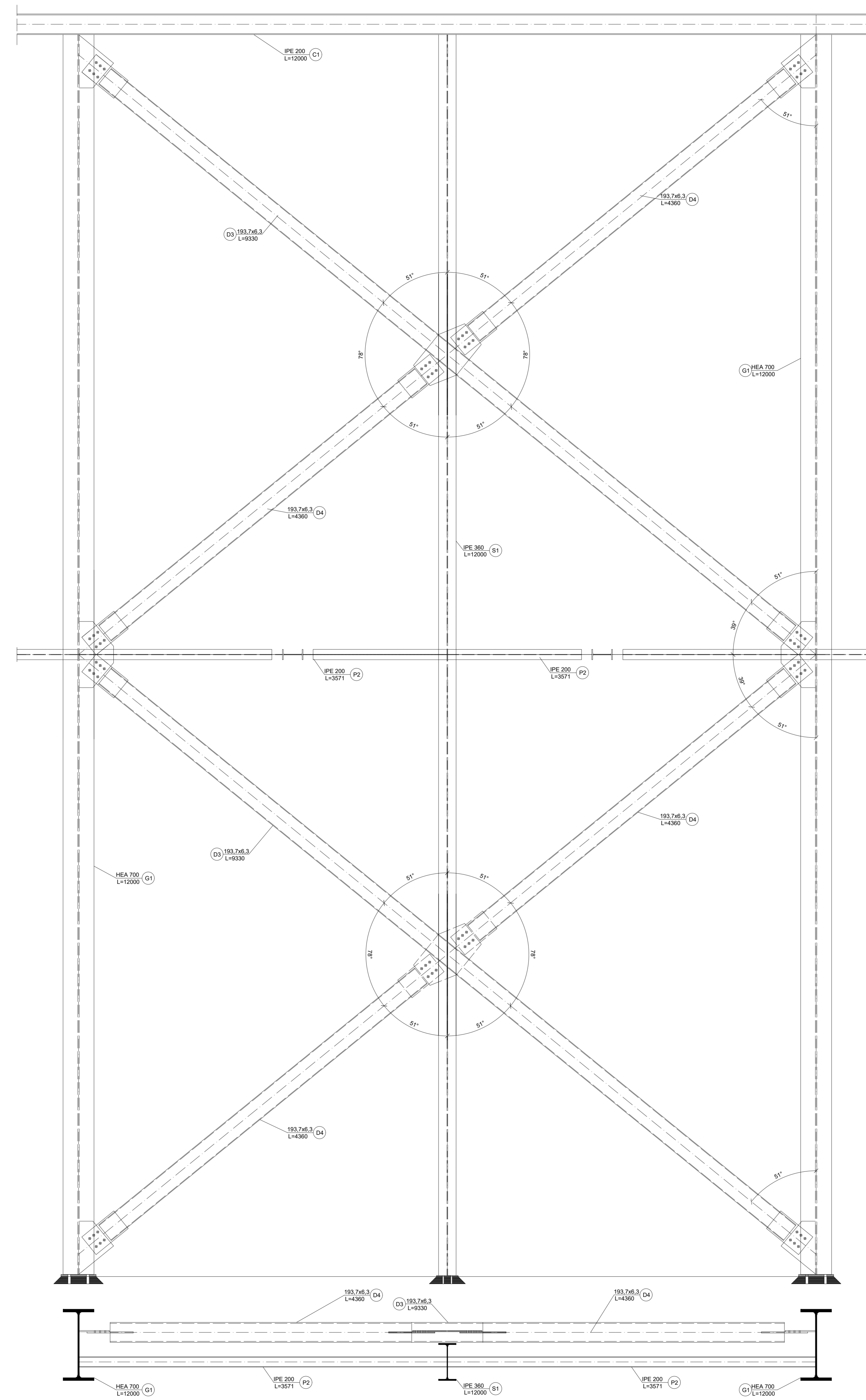
Anadolj: Faa. Arhitekturalna Fakulteta, 21. Zagreb, HR-10000 Telefon: +385 1 4636 810	
<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
Vrsta radova: IDEJNI PROJEKT	
Vrsta projekta: OKVIR	
Autor: IVAN LUKAČEVIĆ	
Datum: 31.7.2024.	Stranica: 1/20
Datum izdavanja: 2023./2024.	
Izradio: MARINO TOMAS	

Pregledni nacrt - krovna ravnina, MJ. 1:20



 Fakultet arhitekture Sveučilište u Zagrebu Hrvatska		Adresa: Fra. Anđelko Kukuljina-Milčević 21, Zagreb, HR-10000 Telefon: +385 1 4638 810	
<b>DIPLOMSKI RAD</b>			
Naziv projekta: IDEJNI PROJEKT			
Naziv teme: KROVNA RAVNINA			
Autor: IVAN LUKAČEVIĆ			
Datum: 31.7.2024.		Stranica: 1/20	
Datum godišnjice: 2023./2024.			
Ime i prezime: MARINO TOMAS			

Pregledni nacrt - vertikalna uzdužna stabilizacija, MJ. 1:20



 Ana Marija Fučić-Kučina-Milina 21 Zagreb, HR-10000 Telefon: +385 1 4856 810	
<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
Vrsta radova: IDEJNI PROJEKT	
Naslov radova: VERTIKALNA UZDUŽNA STABILIZACIJA	
Autor: IVAN LUKAČEVIĆ	
Datum: 31.7.2024.	Stranica: 1:20
Datum godišnjice: 2023./2024.	
Izradio: MARINO TOMAS	