

# Statički proračun čelične konstrukcije hale računalnim programom "Dlubal"

---

Slavin, Sanja

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:659658>

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

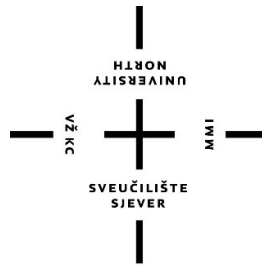
Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

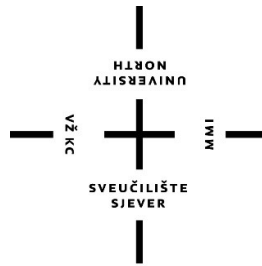
Završni rad br. 475/GR/2024

## Statički proračun čelične konstrukcije hale računalnim programom „Dlubal“

Sanja Slavin, 0336054212

Varaždin, srpanj 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za graditeljstvo

Završni rad br. 475/GR/2024

## Statički proračun čelične konstrukcije hale računalnim programom „Dlubal“

**Student**

Sanja Slavin, 0336054212

**Mentor**

Dalibor Kramarić, mag.ing.aedif., predavač

Varaždin, srpanj 2024. godine



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za Graditeljstvo

STUDIJ Stručni prijediplomski studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Sanja Slavin

MATIČNI BROJ 0336054212

DATUM 28.06.2024

KOLEGIJ METALNE I DRVENE KONSTRUKCIJE

NASLOV RADA Statički proračun čelične konstrukcije hale računalnim programom "Dlubal"

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Structural analysis the steel structure of the hall using the computer software "Dlubal"

MENTOR Dalibor Kramarić, mag.ing.aedif.

ZVANJE predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

- Prof.dr.sc.Ivanka Netinger Grubeša - predsjednik
- Dalibor Kramarić, mag.ing.aedif., predavač - mentor
- Doc.dr.sc. Anđelko Crnoja - član
- Doc.dr.sc. Željko Kos - član
- 

## Zadatak završnog rada

BROJ 475/GR/2024

OPIS

U ovom završnom radu proveden je proračun čelične konstrukcije hale sukladno europskim normama sa općenitim osvrtom na čelične konstrukcije i svim sastavnim dijelovima jedne takve građevine. Nakon definiranja geometrijskih karakteristika objekta, detaljno su analizirana opterećenja na temelju kojih je proveden statički proračun za određivanje unutarnjih sila u konstruktivnim elementima. Prema rezultatima statičkog proračuna, dimenzionirani su konstruktivni elementi sukladno graničnom stanju nosivosti i napravljena provjera graničnog stanja uporabljivosti, deformacije. Sam statički proračun i dimenzioniranje provedeno je u računalnom programu "Dlubal" temeljenom na metodi konačnih elemenata, kod analize opterećenja korišten je računalni program "Opterećenja", a proračun priključaka se proveo u računalnom programu "IDEA StatiCa". Svrha ovog rada bilo je prikazati cjelokupnu analizu i proračun jedne relativno složene čelične konstrukcije sukladno europskim normama uz pomoć računalnih programa te usporediti i uvidjeti brojne prednosti u odnosu na tradicionalni način proračuna.

ZADATAK URUČEN 08.03.2024.



## **Predgovor**

Zahvaljujem se mentoru, profesoru Daliboru Kramariću na prenesenim novim znanjima, na pomoći, strpljenju i savjetima tijekom izade ovog rada.

Najveće hvala dugujem onima koji su puni razumijevanja i podrške bili uz mene za vrijeme studiranja, mojoj prvoj i drugoj obitelji.

Također se zahvaljujem mojim prijateljima na potpori i ostalim profesorima sa odjela Graditeljstva na Sveučilištu Sjever.

## Sažetak

Tema ovog završnog rada je proračun čelične konstrukcije hale sukladno europskim normama. Definirane su geometrijske karakteristike hale i analizirana opterećenja sa kojima je proveden statički proračun za određivanje unutarnjih sila u konstruktivnim elementima. Dimenzioniranje konstruktivnih elemenata temelji se na rezultatima provedenog statičkog proračuna sukladno graničnim stanjima nosivosti. Napravljena je i provjera graničnog stanja uporabivosti, odnosno deformacije. Statički proračun i dimenzioniranje je provedeno u računalnom programu „Dlubal“ koji se temelji na metodi konačnih elemenata. Za analizu opterećenja korišten je računalni program „Opterećenja“, a za proračun priključaka računalni program „Idea StatiCA“.

U radu su definirani osnovni pojmovi vezani za montažno građenje, sam materijal čelik, dijelovi čelične hale i program Dlubal. Prikazan je opis hale, cjelokupna analiza i proračun čelične konstrukcije hale sukladno europskim normama uz pomoć navedenih računalnih programa i uspoređen je proračun iz računalnih programa sa tradicionalnim načinom proračuna.

Ključne riječi: čelik, hala, unutarnje sile, konstruktivni elementi, dimenzioniranje, priključak

### **Abstract:**

The topic of this final paper is analysis of the steel structure of the hall in accordance with European standards. The geometric characteristics of the hall were defined and the loads were analyzed, with which the static calculation was carried out to determine the internal forces in the structural elements. The dimensioning of structural elements is based on the results of the static calculation in accordance with the load-bearing limit states. A check of the limit state of usability, i.e. deformation, was also made. Static analysis and dimensioning was carried out in the "Dlubal" computer program, which is based on the finite element method. The "Opterećenja" computer program was used for load analysis, and the "Idea StatiCA" computer program was used for connection calculations.

The paper defines the basic terms related to prefabricated construction, the material steel itself, parts of the steel hall and the Dlubal program. The description of the hall, the overall analysis and calculation of the steel structure of the hall in accordance with European standards is presented with the help of the mentioned computer programs, and the calculation from the computer programs is compared with the traditional method of calculation.

Keywords: steel, hall, internal forces, constructive elements, dimensioning, connection

## Popis korištenih kratica

<b>ELP</b>	elektrolučne peći
<b>KK</b>	kisikovi konvertori
<b><math>\Sigma</math></b>	suma
<b>s</b>	opterećenje snijegom
<b><math>S_k</math></b>	karakteristična vrijednost opterećenja snijega na tlo
<b><math>c_e</math></b>	koeficijent izloženosti
<b><math>c_t</math></b>	temperaturni koeficijent
<b><math>\mu_i</math></b>	koeficijent oblika krova
<b><math>\alpha</math></b>	kut nagiba krova
<b><math>v_b</math></b>	osnovna brzina vjetra
<b><math>c_{dir}</math></b>	faktor smjera
<b><math>c_{season}</math></b>	faktor godišnjeg doba
<b><math>v_{b,0}</math></b>	temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra
<b><math>q_b</math></b>	osnovni tlak izazvan brzinom vjetra
<b><math>\rho</math></b>	vrijednost gustoće zraka
<b><math>w_e</math></b>	pritisak vjetra na vanjsku oblogu konstrukcije
<b><math>c_e</math></b>	koeficijent izloženosti
<b><math>c_{pe}</math></b>	koeficijent vanjskog tlaka
<b><math>z, h</math></b>	visina objekta u sljemenu
<b><math>b</math></b>	dimenzija objekta okomita na smjer djelovanja vjetra
<b><math>d</math></b>	dimenzija objekta paralelna sa smjerom djelovanja vjetra
<b><math>\varphi</math></b>	smjer djelovanja vjetra

# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
1.1.	Dlupal RFEM .....	1
1.2.	Montažno građenje .....	1
1.3.	Materijal čelik .....	2
1.4.	Dijelovi čelične hale .....	3
2.	Tehnički opis .....	4
3.	Analiza opterećenja .....	5
3.1.	Stalno opterećenje .....	5
3.2.	Opterećenje snijegom .....	5
3.2.1.	Generiranje opterećenja snijegom u Dlubalu .....	8
3.3.	Opterećenje vjetrom .....	9
3.3.1.	Transverzalni smjer .....	12
3.3.2.	Rezultati programa „Opterećenja“ za zidove .....	15
3.3.3.	Rezultati programa „Opterećenja“ za krov .....	17
3.3.4.	Longitudinalni smjer .....	19
3.3.5.	Rezultati programa „Opterećenja“ za zidove .....	20
3.3.6.	Generiranje opterećenja vjetrom na zid u Dlubalu .....	21
3.3.7.	Generiranje opterećenja vjetrom na krov u Dlubalu .....	25
3.3.8.	Rezultati programa „Opterećenja“ za krov .....	27
4.	Statički proračun .....	28
4.1.	Materijali .....	28
4.2.	Model čelične hale .....	29
4.3.	Opterećenja .....	34
4.4.	Provjera deformacija prema graničnom stanju uporabljivosti .....	39
4.5.	Unutarnje sile .....	41
4.6.	Dimenzioniranje .....	58
4.7.	Proračun spojeva .....	62
4.7.1.	Spoj stup - temelj .....	62
4.7.2.	Spoj stup - rešetka .....	64
4.7.3.	Vlačni nastavak .....	66
5.	Zaključak .....	68

# 1. Uvod

## 1.1. Dlubal RFEM

Dlubal RFEM je računalni program za strukturnu analizu konstrukcija koji se temelji na metodi konačnih elemenata. Služi za definiranje konstrukcija, materijala i opterećenja za ravninske i prostorne konstrukcijske sustave koji su načinjeni od štapnih elemenata, ploča, zidova, ljuski i ostalih pojedinih konstrukcijskih elemenata. Koristimo ga za projektiranje čelika, betona, stakla, drva, aluminija i vlačnih konstrukcija prema normama za projektiranje. Dlubal stvara trodimenzionalne modele, definira i nanosi opterećenja na konstrukciju, kombinira opterećenja, provodi dinamičke analize, radi izvješća. Dlubal može izračunati deformacije (globalne i po osima koordinatnog sustava), unutarnje sile (uzdužnu i poprečnu silu te momente savijanja i momente torzije), naprezanja, potporne sile i kontaktna naprezanja u tlu.

## 1.2. Montažno građenje

Montažna gradnja je proces proizvodnje montažnih elemenata neke konstrukcije u industrijskim pogonima izvan gradilišta i transport skupa proizvedenih elemenata na gradilište radi sastavljanja konstrukcije. Gradi se gotovim elementima. Montažni elementi su čvrsti, financijski i ekološki prihvatljivi. Montažno građenje je osnova industrijalizacije građevinarstva.

Jedna od glavnih prednosti montažnog građenja je ubrzan proces proizvodnje. Samim time se smanjuje ukupno vrijeme građenja i smanjuje se napor radnika iz razloga što se koristi više mehanizacije i automatizacije. Smanjuje se teški fizički rad, postoje stalni radnici i moguće je brzo stjecanje kvalifikacije za obavljanje ove vrste gradnje. Poboļjšani su radni uvjeti i povećana je i produktivnost. Proces proizvodnje se vrši u proizvodnim pogonima stoga je proizvodnja potpuno neovisna o vremenskim uvjetima i proizvodi se u optimalnim uvjetima. Isto tako je omogućen neprekidni rad tijekom cijele godine, proizvodi se kontinuirano. Štedi se i na radnom materijalu i tako se smanjuju troškovi i čuvaju šume. Dakle, u usporedbi sa gradnjom na gradilištu, radi se brže, jednostavnije, produktivnije i jeftinije. Osim toga, montažne građevine su dokazano ekološke i ekonomske. Ovom vrstom gradnje smanjuje se količina otpada, manja je potrošnja toplinske energije jer je bolja izolacija vanjskih zidova.

Bilo koji način gradnje ima i svoje nedostatke. Tako je jedan od nedostataka montažnog građenja veliko početno ulaganje jer je potrebno izgraditi tvornicu montažnih elemenata, ulaže se za transport gotovih elemenata iz proizvodnog pogona na gradilište. U montažnoj gradnji je ograničen i asortiman i fleksibilnost te dolazi do stalnog ponavljanja. Spojnice, odnosno fuge isto tako stvaraju poteškoće u

gradnji. Potrebno je dobro organizirati radove. Za montažno građenje je bitno imati kvalificiranu radnu snagu zato što je potrebno znanje i iskustvo za rukovanje strojevima u pogonu. Zbog vremenske stiske radnici također mogu biti skloni pogreškama.

### 1.3. Materijal čelik

Čelik je materijal koji je nezaobilazan, kako u građevinarstvu, tako i u raznim drugim područjima. Ima povoljna svojstva, široku upotrebu i prilagođava se specijalnim zahtjevima; stoga možemo zaključiti da je čelik najvažniji metalni materijal u primjeni diljem svijeta. Građevinski, odnosno konstrukcijski čelici danas se koriste za nosive konstrukcije u visokogradnji, gradnji vozila, spremnika, mostogradnji, brodogradnji, gradnji sustava za istraživanje i eksploataciju nafte i plina. [1] U suprotnosti sa čelikom, čisto željezo ne služi kao građevinski materijal zbog toga što je vrlo mekan i posjeduje slabije mehaničke karakteristike.

Čelik je legura željeza koja u sebi sadrži do 2% ugljika i drugih elementata. To mogu biti prateći elementi (mangan, silicij, fosfor, sumpor, kisik) ili legirajući elementi (krom, nikal, aluminij, molibden, bakar). Neki od njih štetno djeluju na svojstva čelika, a drugi ga poboljšavaju. Ugljik je najvažnija komponenta čelika jer najviše utječe na njegova mehanička svojstva. Kako bismo odredili mehaničke karakteristike čelika, potrebno je provesti vlačna ispitivanja. Uzorci, tj. epruvete se razvlače do loma. Kao rezultat ispitivanja dobivamo radni dijagram čelika. Najvažnija mehanička svojstva su: visoka granica tečenja, visoka čvrstoća i visoki udarni rad loma, odnosno žilavost. Također je poželjno da čelici budu dovoljno čvrsti pri radu na visokim temperaturama, otporni na trošenje i dovoljno dinamički izdržljivi.

Čelik se može proizvesti na više različitih načina, a najpoznatiji su: Bessemer – Birne, Thomas, Siemens – Martin, Linz – Donawitz, Elektro peći i Dupleksni postupak. Danas se čelik proizvodi u elektrolučnim pećima (ELP) i u kisikovim konvertorima (KK).

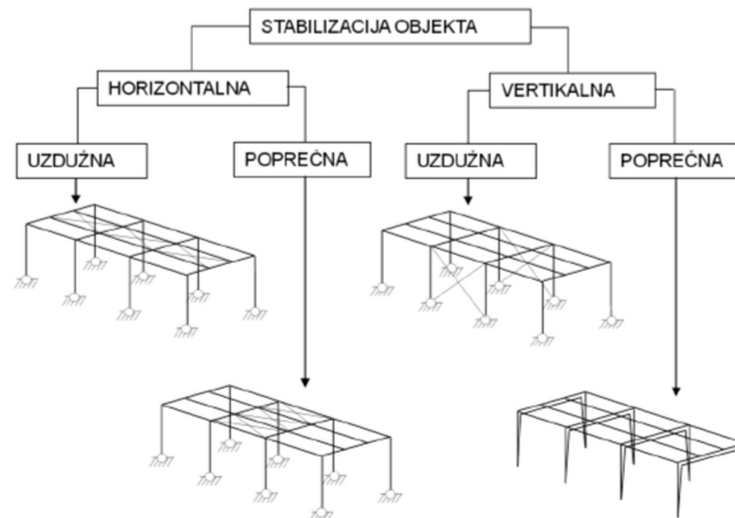
Postoji četiri vrste građevinskih čelika, a to su: čelici standardne kvalitete, čelici otporni na koroziju, visokočvrsti čelici i čelici za spojna sredstva. Prema kemijskom sastavu dijeli se na: ugljični čelik (najvažniji element je ugljik koji utječe na svojstva čelika, a drugih elemenata ima u tragovima) i legirani čelik (najvažniji elementi su legirajući elementi koji utječu na svojstva čelika, oni se dodavaju s namjerom da bismo postigli određena svojstva).

Čelik kao materijal za spajanje postoji u sljedećim oblicima: trnovi, zakovice, samonarezujući vijci, sidreni vijci, elektrode i elektrodne žice.

Danas čelik ima vrlo veliku ulogu u gradnji konstrukcija, a da bi bio što češće upotrebljavan potrebno je poboljšati njegove karakteristike i povećati ekonomičnost proizvodnje tako da povećamo proizvodni učinak i snizimo pogonske i investicijske troškove. [2]

## 1.4. Dijelovi čelične hale

Čelična konstrukcija je nosivi sustav hale koja se sastoji od nekoliko konstrukcijskih elemenata. Ova se hala sastoji od stupova, rešetke sa gornjim i donjim pojasom te vertikalnom i kosom ispunom, sekundarnom krovnom konstrukcijom, fasadnim nosačima na koje dolaze sendvič paneli te bočnih pridržanja. Hala je stabilizirana sa krovnim (horizontalnim) i bočnim (vertikalnim) spregovima. Na slici 1.4.1. prikazane su vrste stabilizacije i njihov položaj na nekom objektu.



Slika 1.4.1. Tipovi stabilizacije

Postoji horizontalna poprečna stabilizacija, koja prenosi horizontalna djelovanja koja djeluju u uzdužnom smjeru na konstrukciju, na vertikalnu uzdužnu stabilizaciju. Postavljena je horizontalno.

Zatim horizontalna uzdužna stabilizacija isto tako prenosi horizontalna djelovanja, no ona djeluju u poprečnom smjeru na konstrukciju, na vertikalnu poprečnu stabilizaciju. Postavljena je horizontalno.

Vertikalna poprečna stabilizacija prenosi reakcije od horizontalne uzdužne stabilizacije do temelja. Postavljena je vertikalno.

Vertikalna uzdužna stabilizacija preuzima reakcije od horizontalne uzdužne stabilizacije do temelja i postavljena je vertikalno.

Cilj ovog rada je napraviti statički proračun za čeličnu konstrukciju hale i usporediti proračun u računalnom programu sa ručnim načinom. Svi podaci u radu su prikupljeni uz pomoć stručne literature, znanstvenih časopisa, znanstvenih članaka, Eurokoda i savladanih znanja tijekom studiranja i pisanja završnog rada.



## 2. TEHNIČKI OPIS

Ovaj završni rad baziran je na statičkom proračunu montažne čelične hale koja je projektirana za industrijsku namjenu.

Građevina se nalazi u gradu Varaždinu koji je na nadmorskoj visini od 173 metara. Hala je dvostrešna i simetrična. Tlocrtna dimenzija hale su 25x45 metara. Kut nagiba krova prema horizontali iznosi 8°, odnosno 14,05%. Ukupna visina hale od uređenog terena do sljemena je 11,88 metara.

Nosivi sustav hale koncipiran je na 9 nosača koji se nalaze na jednakoj osnoj udaljenosti od 5,625 metara.

Sekundarna konstrukcija je prosta greda na koju naliježu sekundarni krovni nosači, odnosno podrožnice na osnom razmaku od 2,5 metara.

Stabilizacija hale ostvarena je spregovima u krovnim i zidnim ravninama u krajnjim poljima, odnosno u prvom i posljednjem polju.

Krovna konstrukcija prekriva se crnim sendvič panelima debljine 200 milimetara, a na zidovima se nalaze crni sendvič paneli debljine 150 milimetara. Paneli su postavljeni u vertikalnom smjeru.

Svi elementi proizvodne hale izrađeni su od građevinskog čelika S355.

Proračun momenata savijanja, unutarnjih sila i dimenzioniranje proveden je u skladu sa HRN EN 1991-1-1:2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4 [3]

### 3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Vlastita težina svih profila sadržana je u programskom paketu Dlubal koji uključuje iste težine u proračun i dimenzioniranje.

#### 3.1. STALNO OPTEREĆENJE

##### KROV

METAL STIL EURO CINQUE sendvič paneli debljine 200 mm .....	0,14 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije .....	0,10 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma =$	0,24 kN/m <sup>2</sup>

##### ZIDOVI

METAL STIL ISOPAR sendvič paneli debljine 150 mm .....	0,12 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije .....	0,10 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma =$	0,22 kN/m <sup>2</sup>

Stalna su opterećenja određena na temelju Eurokoda 1: Djelovanja na konstrukcije – dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada [4].

#### 3.2. OPTEREĆENJE SNIJEGOM



Slika 3.2.1. Karta snježnih područja

Kako bismo izračunali opterećenje hale snijegom, koristimo se Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom [5].

U sljedećoj jednadžbi prikazano je opterećenje snijegom na krovu:

$$S = S_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_i \text{ [kN/m}^2\text{]}, \text{ gdje su:} \quad (1)$$

$S_k$  = karakteristična vrijednost opterećenja snijega na tlo

$c_e$  = koeficijent izloženosti

$c_t$  = temperaturni koeficijent

$\mu_i$  = koeficijent oblika krova

Za vrijednosti koeficijenta izloženosti  $c_e$  i temperaturnog koeficijenta  $c_t$  uzimaju se 1,0.

Proizvodna hala nalazi se u Varaždinu, stoga je snježno područje u Kontinentalnoj Hrvatskoj (Slika 3.2.1). Nadmorska visina grada Varaždina je 173 m.

Uz pomoć ovih podataka, iz tablice 3.2.1. možemo iščitati karakterističnu vrijednost opterećenja snijega na tlo  $S_k$ .

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	0,5	0,75	1,00	1,25
200	0,5	0,75	1,25	1,50
300	0,5	0,75	1,50	1,75
400	0,5	1,00	1,75	2,00
500	0,5	1,25	2,00	2,50
600	0,5	1,50	2,25	3,00
700	0,5	2,00	2,50	3,50
800	0,5	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		

Tablica 3.2.1. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine

$$s_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Zatim je potrebno odrediti koeficijent oblika dvostrešnog krova  $\mu_i$  uz pomoć tablice 3.2.2.

Kut nagiba krova	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
Koeficijent oblika $\mu_1$	0,8	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0,0
Koeficijent oblika $\mu_2$	0,8	$0,8+0,6(\alpha-15)/30$	$1,1(60-\alpha)/30$	0,0
Koeficijent oblika $\mu_3$	$0,8+0,8\alpha/30$	$0,8+0,8\alpha/30$	1,6	Posebna razmatranja

Tablica 3.2.2. Koeficijenti oblika opterećenja snijegom

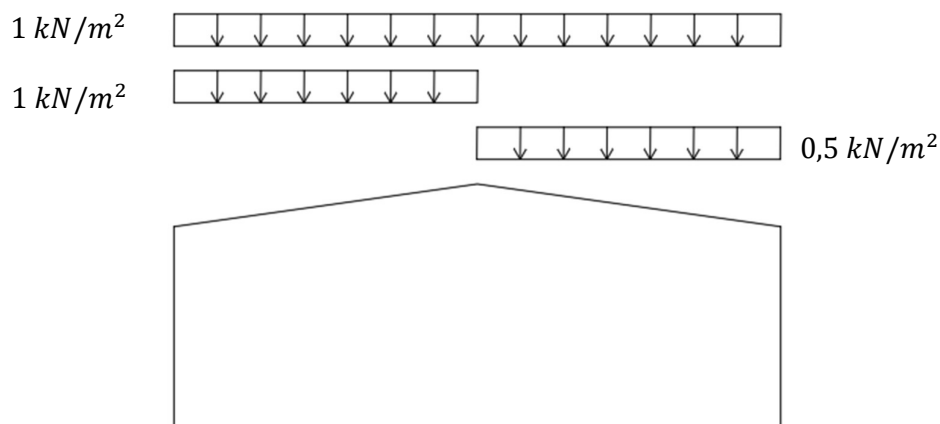
Za nagib od  $8^\circ$ , koeficijent oblika dvostrešnog krova iznosi:

$$\mu_1 = \mu_2 = 0,8$$

OPTEREĆENJE SNIJEGOM NA KROVU:

$$s = s_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_i \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

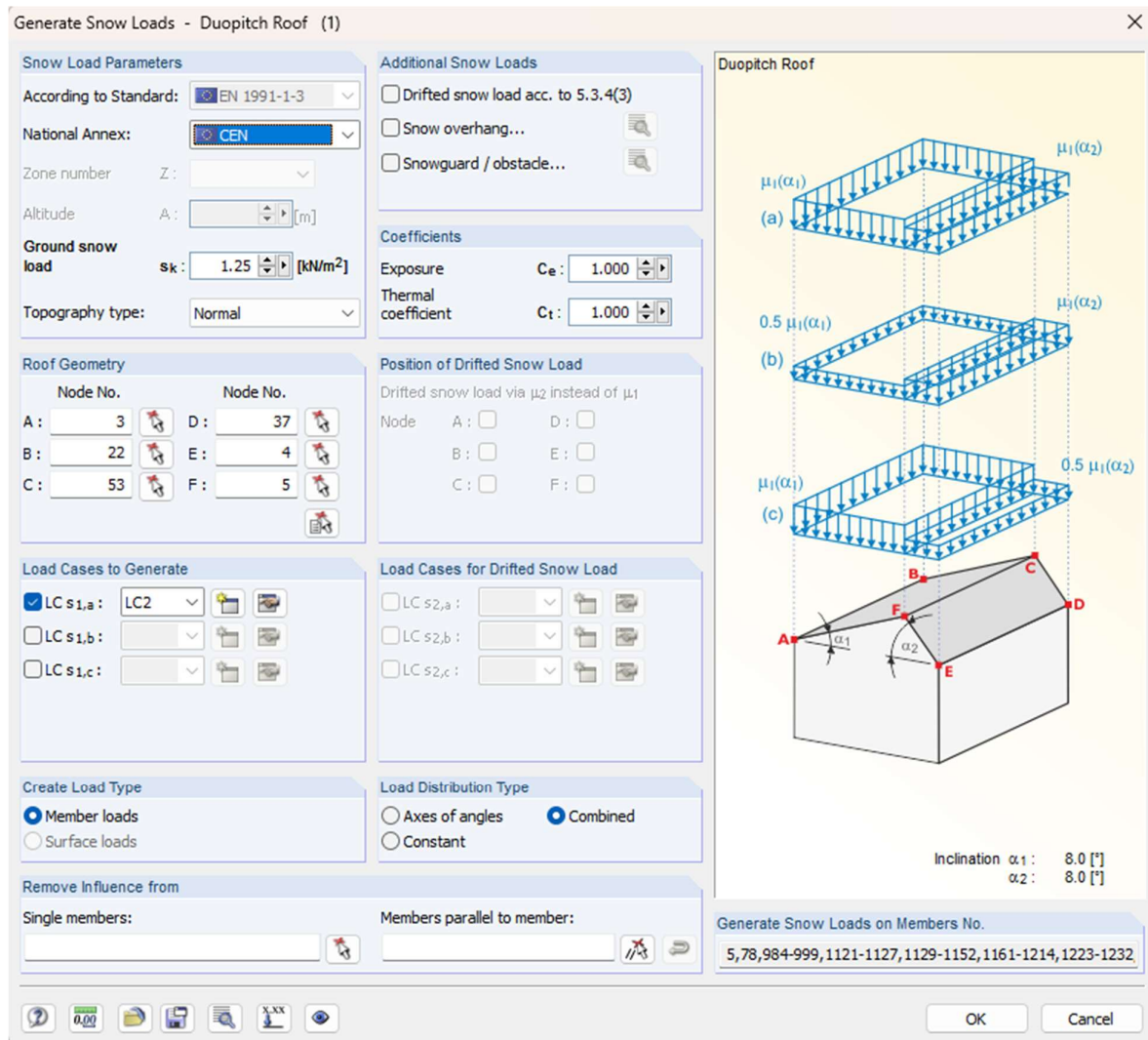
$$s = 1,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 1 \text{ kN/m}^2$$



Slika 3.2.2. Shema djelovanja snijega

### 3.2.1. Generiranje opterećenja snijegom u Dlubalu

Dlubal ima opciju generiranja opterećenja snijegom na krov konstrukcije (slika 3.2.1.1.). Da bismo dobili točnu vrijednost opterećenja snijega na dvostrešni krov konstrukcije, bitno je upisati točne parametre. Biramo normu, upisujemo vrijednosti koje smo uzeli iz karte sniježnih područja i unosimo koeficijente. Prema grafičkom prikazu na desnoj strani sučelja, biramo rubne točke krova na koji djeluje snijeg kako bismo pravilno postavili površinu djelovanja. Dlubal sam računa nagib krova.



Slika 3.2.1.1.: Generiranje opterećenja snijegom (snimka zaslona)

### 3.3. OPTEREĆENJE VJETROM



Slika 3.3.1. Karta osnovne brzine vjetra

Za proračun opterećenja vjetrom, koristimo se normom HRN EN 1991-1-4 iz Eurokoda I koja se odnosi na djelovanja vjetra.

U sljedećoj jednadžbi prikazano je korigirana osnovna brzina vjetra:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \text{ [m/s]}, \text{ gdje su:} \quad (2)$$

$v_b$  = osnovna brzina vjetra

$c_{dir}$  = faktor smjera

$c_{season}$  = faktor godišnjeg doba

$v_{b,0}$  = temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra

Iz karte na slici 3.3.1. možemo iščitati da je  $v_{b,0} = 20$  m/s jer se Varaždin nalazi u prvoj vjetrovnoj zoni.

Vrijednosti faktora smjera  $c_{dir}$  i faktora godišnjeg doba  $c_{season}$  su 1,0.

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$$

## OSNOVNI TLAK IZAZVAN BRZINOM VJETRA

Iz jednadžbe 3 dobijemo vrijednost osnovnog tlaka izazvanog brzinom vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \text{ [kN/m}^2\text{]}, \text{ gdje su:} \quad (3)$$

$q_b$  = osnovni tlak izazvan brzinom vjetra

$\rho$  = vrijednost gustoće zraka

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

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

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (20 \text{ m/s})^2$$

$$q_b = 250 \text{ N/m}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

## IZLOŽENOST ZGRADE

Pritisak vjetra na vanjsku oblogu konstrukcije računa se prema formuli:

$$w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (4)$$

Koeficijent izloženosti  $c_e(z)$ :

	Kategorija terena	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0	More ili priobalne površine izložene otvorenom moru	0,003	1
1	Jezera ili ravne površine sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
2	Površine s niskom vegetacijom poput trave i izdvojenih prepreka s razmacima od najmanje 20 visina prepreka	0,05	2
3	Područje pokriveno jednolikom vegetacijom ili drugim preprekama čiji je međusobni razmak najviše 20 visina prepreka	0,3	5
4	Gradska područja s najmanje 15% izgrađenih površina te s prosječnom visinom zgrada preko 15 m.	1,0	10

Tablica 3.3.1. Kategorije terena i pripadajuće vrijednosti  $z_0$  i  $z_{min}$

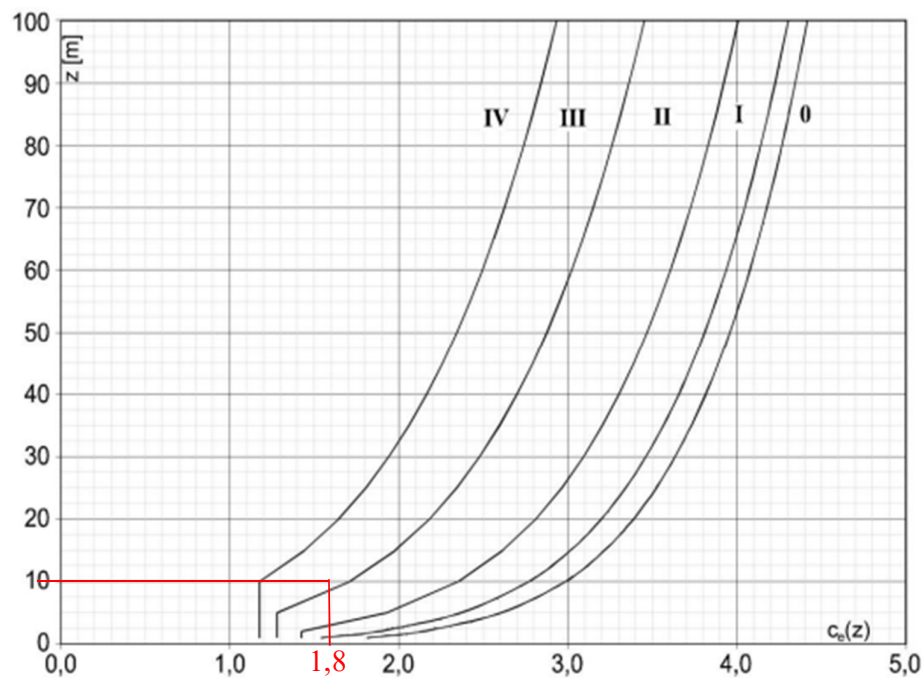
Odabrana kategorija terena je III (tablica 3.3.1).

S obzirom na kategoriju terena i visinu objekta u sljemenu, određujemo koeficijent izloženosti  $c_e$  (slika 3.3.2).

Visina objekta u sljemenu:  $h = z = 11,88 \text{ m}$

Koeficijent izloženosti iznosi:

$$c_e(11,88) = 1,8$$



Slika 3.3.2. Koeficijenti izloženosti za ravne terene u ovisnosti o visini  $z$

Tlak pri vršnoj brzini vjetra na visini  $z$ :

$$q_p(z) = q_b \cdot c_e(z) \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (5)$$

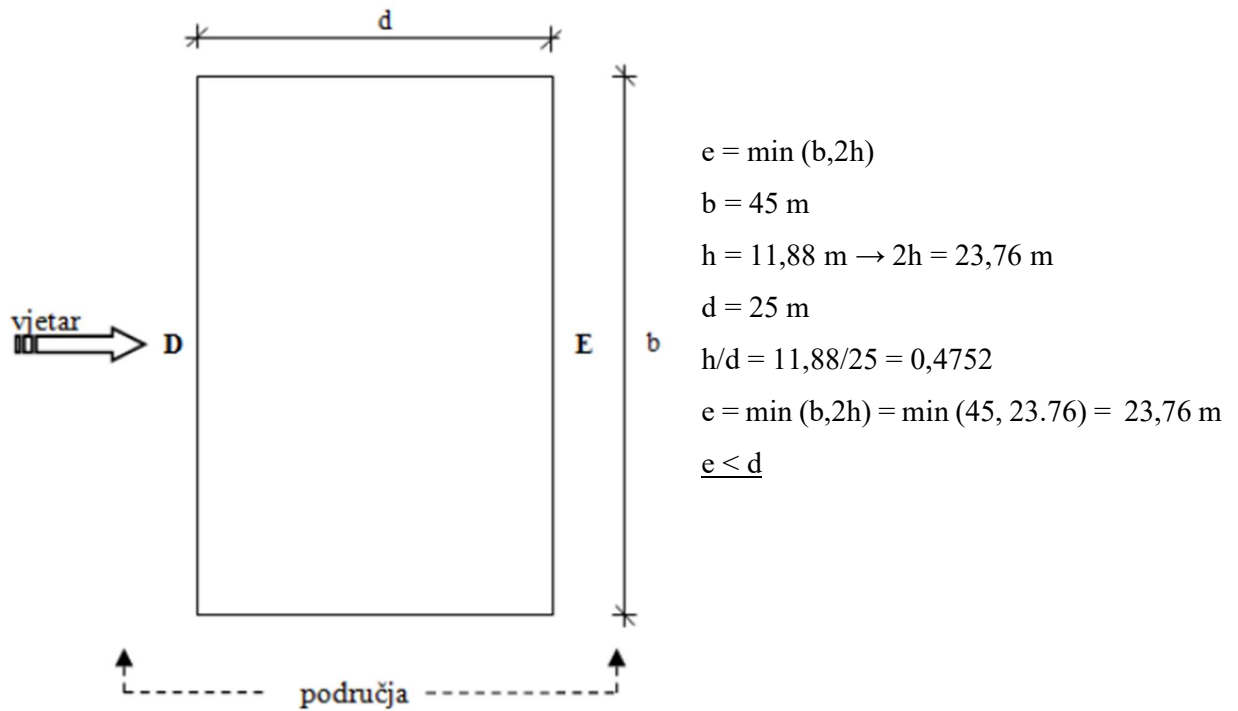
$$q_p(z) = 0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,8$$

$$q_p(z) = 0,45 \text{ kN/m}^2$$



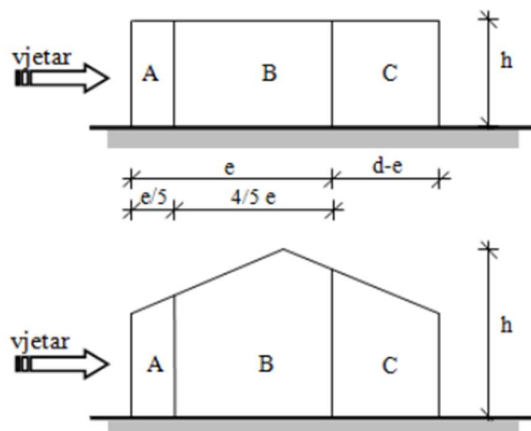
### 3.3.1. TRANSVERZALNI/POPREČNI SMJER DJELOVANJA VJETRA $\varphi = 0^\circ$

ZIDOVI:

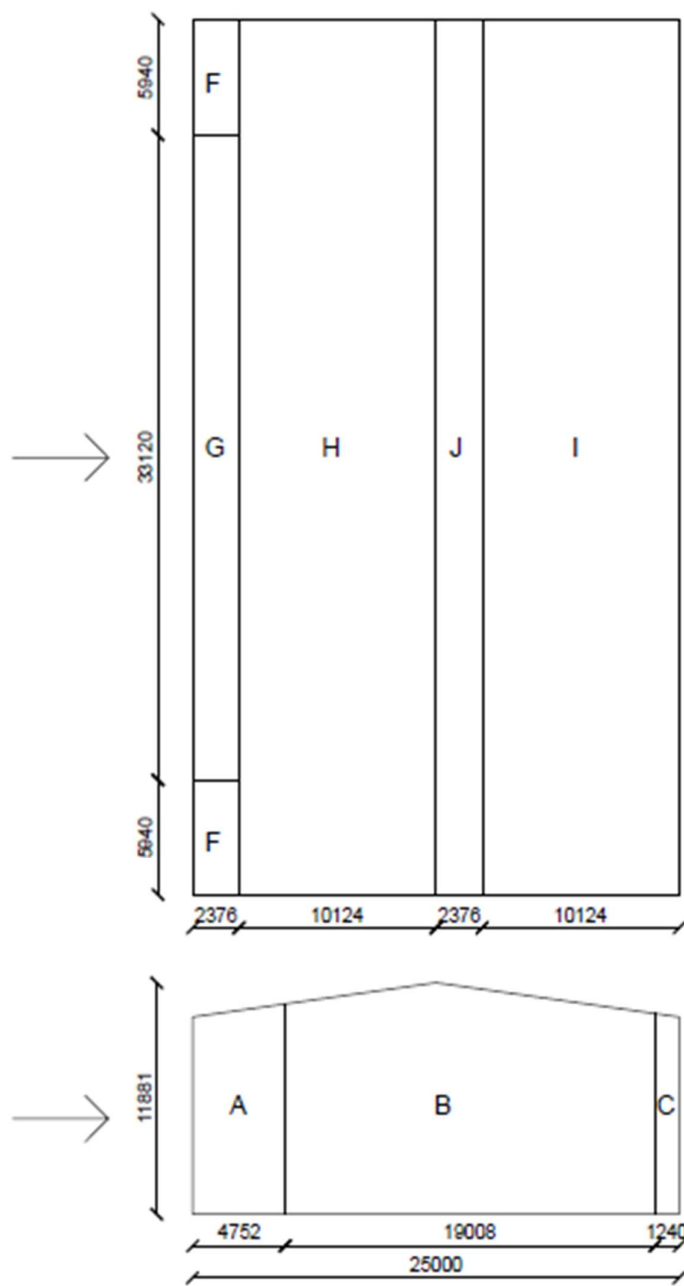


Za  $e < d$ :

#### Područja za $e < d$



Slika 3.3.1.1. Podjela zidova po zonama za transverzalni smjer vjetra



Slika 3.3.1.2. Shema zona na objektu izloženih djelovanju vjetra

		Područje									
		A		B		C		D		E	
$h/d$		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$\geq 5$		-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,3	-0,7
1		-1,2	-1,4	-0,8	-1,1		-0,5	+0,8	+1,0		-0,5
$\leq 0,25$		-1,2	-1,4	-0,8	-1,1		-0,5	+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

Tablica 3.3.1.1. Koeficijenti vanjskog tlaka za vertikalne zidove,  $\varphi = 0^\circ$

Uz pomoć tablice 3.3.1.1. možemo izračunati pritisak vjetra na vanjske zidove.

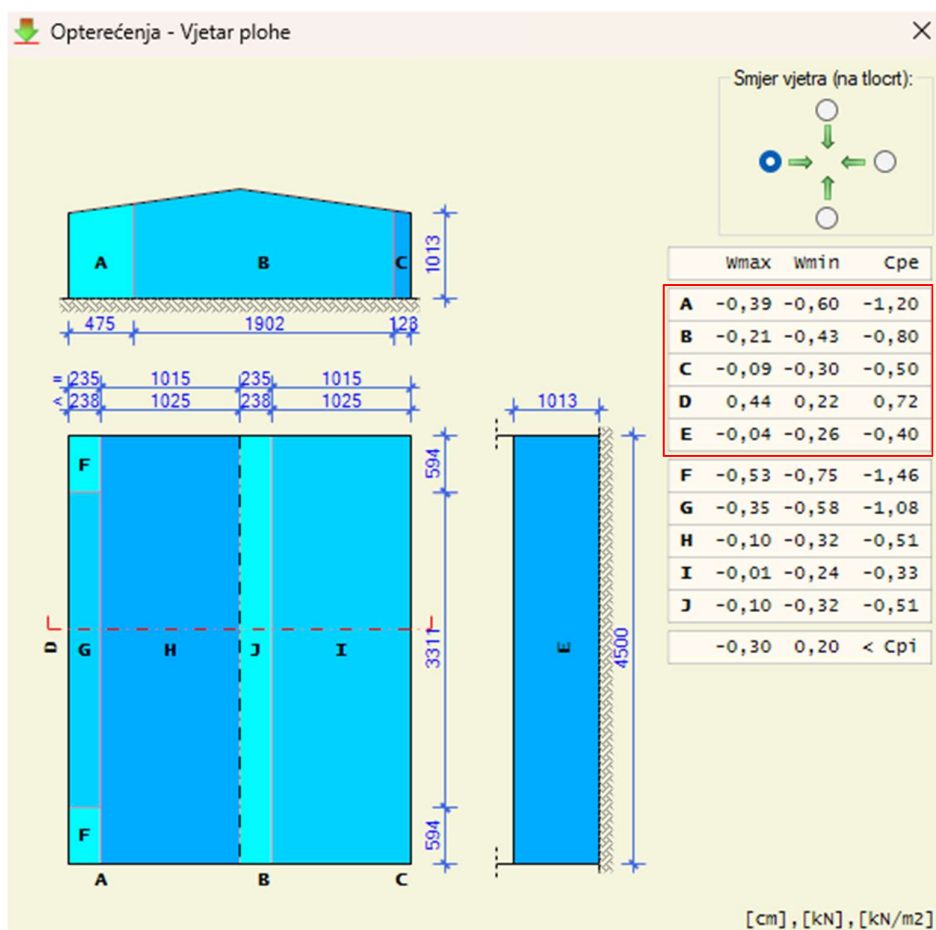
Vertikalne površine [ $m^2$ ]	$c_{pe}$	$w_e$ [ $kN/m^2$ ]	
		$w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$	
A	49,70	-1,2	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-1,2) = -0,540$
B	212,72	-0,8	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,8) = -0,360$
C	12,66	-0,5	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,5) = -0,225$
D	455,63	+0,73	$0,25 \cdot 1,8 \cdot 0,73 = 0,329$
E	455,63	-0,38	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,38) = -0,171$

Tablica 3.3.1.2. Pritisak vjetra na vanjske zidove – transversalni smjer

### 3.3.2. REZULTATI PROGRAMA „OPTEREĆENJA“ ZA ZIDOVE

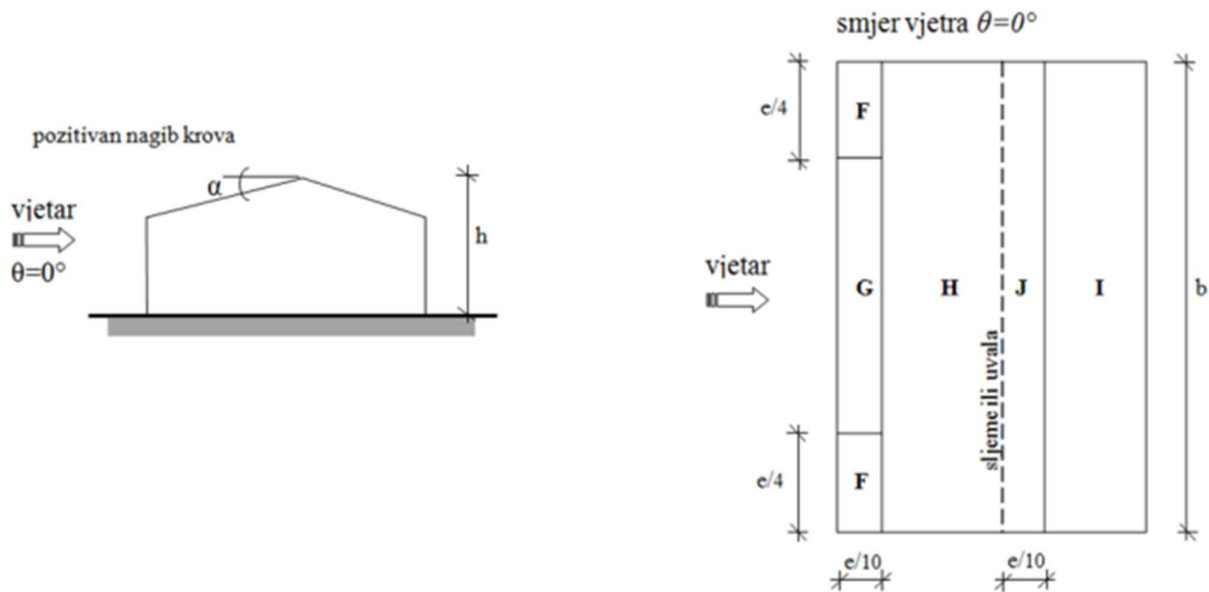
Nakon što smo unijeli potrebne ulazne podatke u program i odredili smjer vjetra, možemo usporediti dobivene rezultate sa programom „Opterećenja“. Koristimo normu HRN EN 1991 – Eurokod 1 koji se odnosi na osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije.

Na slici 3.3.2.1. nalazi se shema poprečnog djelovanja vjetra ( $\varphi = 0^\circ$ ) na zidove montažne hale, vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka i pritiska vjetra na zidove montažne hale. Crveno naznačene zone odnose se na zidove.



Slika 3.3.2.1. Poprečno djelovanje vjetra na zidove (snimka zaslona)

KROV:



Slika 3.3.2.2. Podjela dvostrešnog krova po zonama za transverzalni smjer vjetra

U ovom primjeru, nagib krova je  $+8^\circ$ . Na temelju nagiba iščitavamo koeficijente vanjskog tlaka za svako od područja iz tablice 3.3.2.1. U tablici 3.3.2.2. ispisane su horizontalne površine te pozitivne i negativne vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka. Na kraju računamo i pritisak vjetra na krovne površine.

Područje

	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Nagib krovništa $\alpha$	-45°	-0,6	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-1,0	-1,5
	-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8	-1,4
	-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	-0,7	-1,2
	-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,3	-0,3	-0,3
	5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	-0,3	-0,3
	15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3	-0,3	-0,4	-1,0	-1,5
		+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	-0,4	-1,0	-1,5
	30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5
		+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,4	+0,4	-0,4	-0,5	-0,5
	45°	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,6	+0,6	-0,2	-0,2	-0,3
	60°	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	-0,2	-0,2	-0,3
	75°	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8	-0,2	-0,2	-0,3

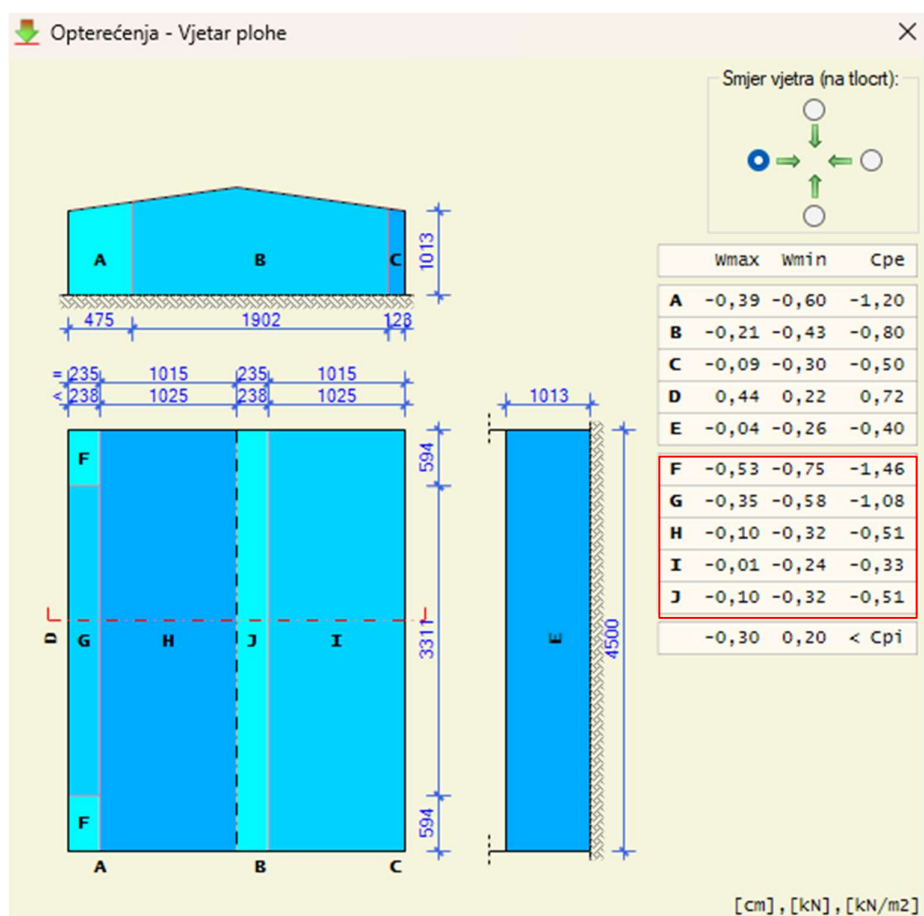
Tablica 3.3.2.1.. Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove,  $\varphi = 0^\circ$

	Horizontalne površine [m <sup>2</sup> ]	$c_{pe}$		$w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] $w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$	
F	14,11	-1,55	0,08	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-1,55) = -0,70$	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (0,08) = 0,036$
G	78,69	-1,1	0,08	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-1,1) = -0,495$	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (0,08) = 0,036$
H	455,58	-0,5	0,08	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,5) = -0,225$	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (0,08) = 0,036$
I	455,58	-0,33		$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,33) = -0,149$	
J	106,92	-0,5		$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,5) = -0,225$	

Tablica 3.3.2.2. Pritisak vjetra na dvostrešni krov – transversalni smjer

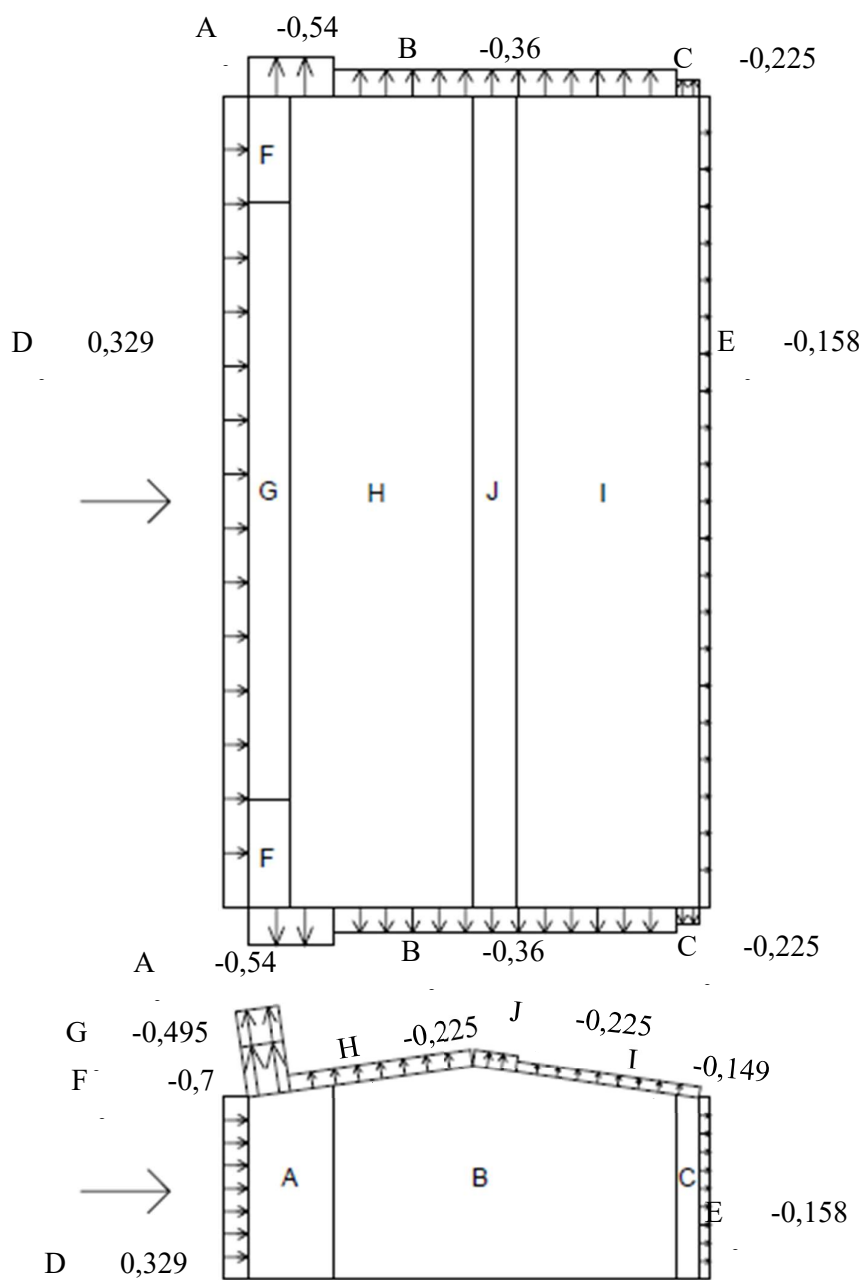
### 3.3.3. REZULTATI PROGRAMA „OPTEREĆENJA“ ZA KROV

Crveno označene zone na slici 3.3.3.1. prikazuju vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka i pritiska vjetra na dvostrešni krov na kojeg vjetar djeluje u poprečnom smjeru.



Slika 3.3.3.1. Poprečno djelovanje vjetra na dvostrešni krov (snimka zaslona)

Djelovanja na slici 3.3.3.2. dobivena su ručnim proračunom.



Slika 3.3.3.2. Shema djelovanja vjetra na halu u poprečnom smjeru

### 3.3.4. LONGITUDINALNI/UZDUŽNI SMJER DJELOVANJA VJETRA $\varphi = 90^\circ$

$$e = \min(b, 2h)$$

$$b = 25 \text{ m}$$

$$d = 45 \text{ m}$$

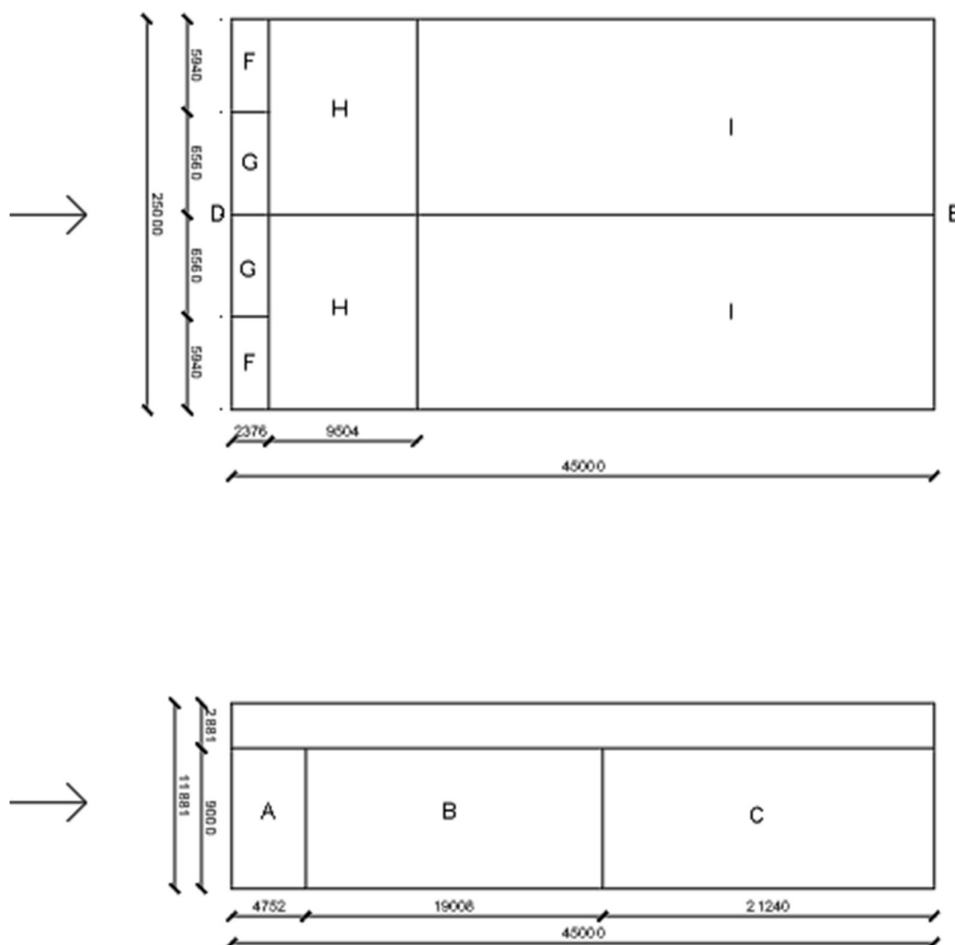
$$h = 11,88 \text{ m} \rightarrow 2h = 23,76 \text{ m}$$

$$h/d = 11,88/45 = 0,264$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(25, 23,76) = 23,76 \text{ m}$$

$$\underline{e < d}$$

ZIDOVI:



Slika 3.3.4.1. Podjela zidova po zonama za longitudinalni smjer vjetra



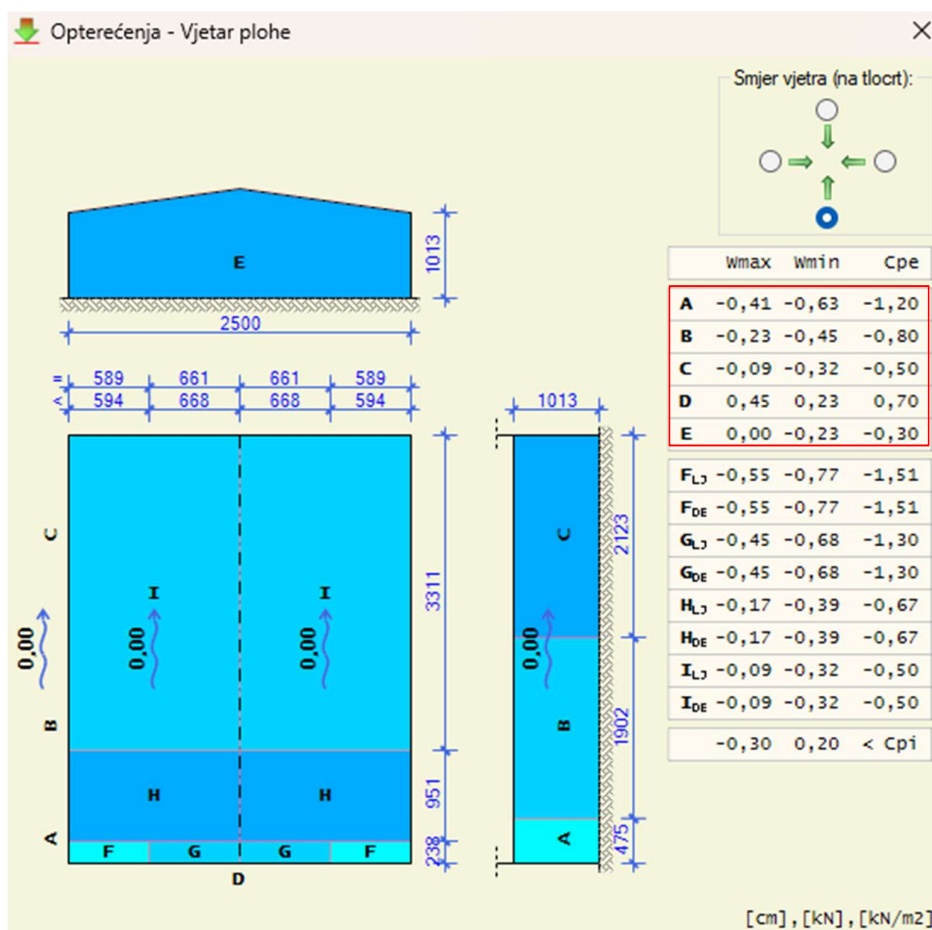
Iz tablice 3.3.1.1. odabiremo koeficijente vanjskog tlaka i unosimo u formulu za pritisak vjetra na vanjsku oblogu. Izračun se nalazi u tablici 3.3.4.1.

	Vertikalne površine [m <sup>2</sup> ]	$c_{pe}$	$w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] $w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$
A	33,26	-1,2	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-1,2) = -0,540$
B	133,06	-0,8	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,8) = -0,360$
C	148,68	-0,5	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,5) = -0,225$
D	275,085	+0,7	$0,25 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 0,315$
E	275,085	-0,3	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,3) = -0,135$

Tablica 3.3.4.1. Pritisak vjetra na zidove – longitudinalni smjer

### 3.3.5. USPOREDBA REZULTATA SA PROGRAMOM „OPTEREĆENJA“ ZA ZIDOVE

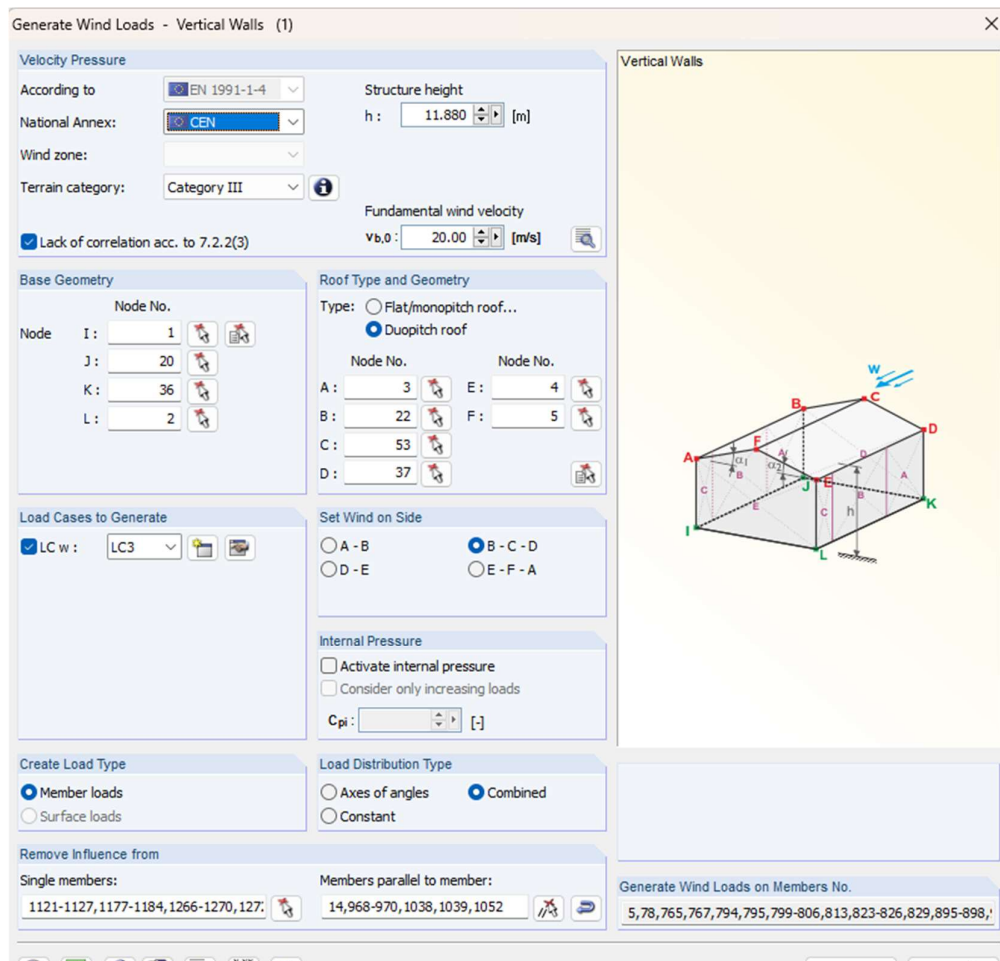
Na sljedećoj slici 3.3.5.1. prikazani su dobiveni koeficijenti vanjskog tlaka i pritisak vjetra na zidove u poprečnom smjeru djelovanja vjetra.



Slika 3.3.5.1. Uzdužno djelovanje vjetra na zidove (snimka zaslona)

### 3.3.6. Generiranje opterećenja vjetrom na zid u Dlubalu

Uz opciju generiranja opterećenja snijegom, u Dlubal-u se također može generirati vjetar za bilo koji smjer na krov i zidove konstrukcije. Slikom 3.3.6.1. prikazano je sučelje u kojem je postavljen vjetar na zid konstrukcije u smjeru x. Ovi smjerovi vjetra nazvani su prema postavljenom koordinatnom sustavu. Biramo normu i upisujemo parametre: visinu u strehi, odabranu kategoriju terena, temeljnu vrijednost osnovne brzine vjetra, odabiremo rubne točke zidova prema grafičkom prikazu, podešavamo smjer vjetra (prema koordinatnom sustavu). Također biramo na kojim poprečnim presjecima vjetar ne djeluje. Bitno je paziti na koje elemente djeluje vjetar, a na koje ne djeluje. Vjetar djeluje samo na fasadne nosače, stoga odabiremo da ne djeluje na stupove i vertikalne spregove.



Slika 3.3.6.1.: Nanošenje opterećenja vjetrom na zid (snimka zaslona)

Na kraju, ćemo dobiti prozor u kojem su ispisane vrijednosti opterećenja za svaku zonu i koeficijenti vanjskog tlaka. Ovaj prozor je prikazan na slici 3.3.6.2.

Info About Generation of Wind Loads - Vertical Walls

**Wall Dimensions**

h :	11.880 [m]	d <sub>A</sub> :	4.752 [m]
b :	25.000 [m]	d <sub>B</sub> :	19.008 [m]
d :	45.000 [m]	d <sub>C</sub> :	21.240 [m]
e :	23.760 [m]		
A :	1461.950 [m <sup>2</sup> ]		

**External Pressures**

Zone	External pressure coefficient C <sub>pe,10</sub>	External Pressure w <sub>e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A :	1.200	-0.55
B :	-0.800	-0.36
C :	-0.500	-0.23
D :	0.702	0.27
E :	-0.304	-0.12

**Generated total wind loads**

Σ P <sub>Area</sub> :	107.151 [kN]	1463.920 [kNm]
Σ P :	107.151 [kN]	1463.910 [kNm]

**Cells Selected for Generation**

Σ Number of cells:	30	Σ Cell area:	2039.603 [m <sup>2</sup> ]
--------------------	----	--------------	----------------------------

Generate Wind Loads on Members No.  
5,78,765,767,794,795,799-806,813,823-826,829,895-898,984,985

**Vertical Walls**

OK Cancel

Slika 3.3.6.2.: Prikaz dobivenih vrijednosti opterećenja vjetrom na zid (snimka zaslona)

KROV:

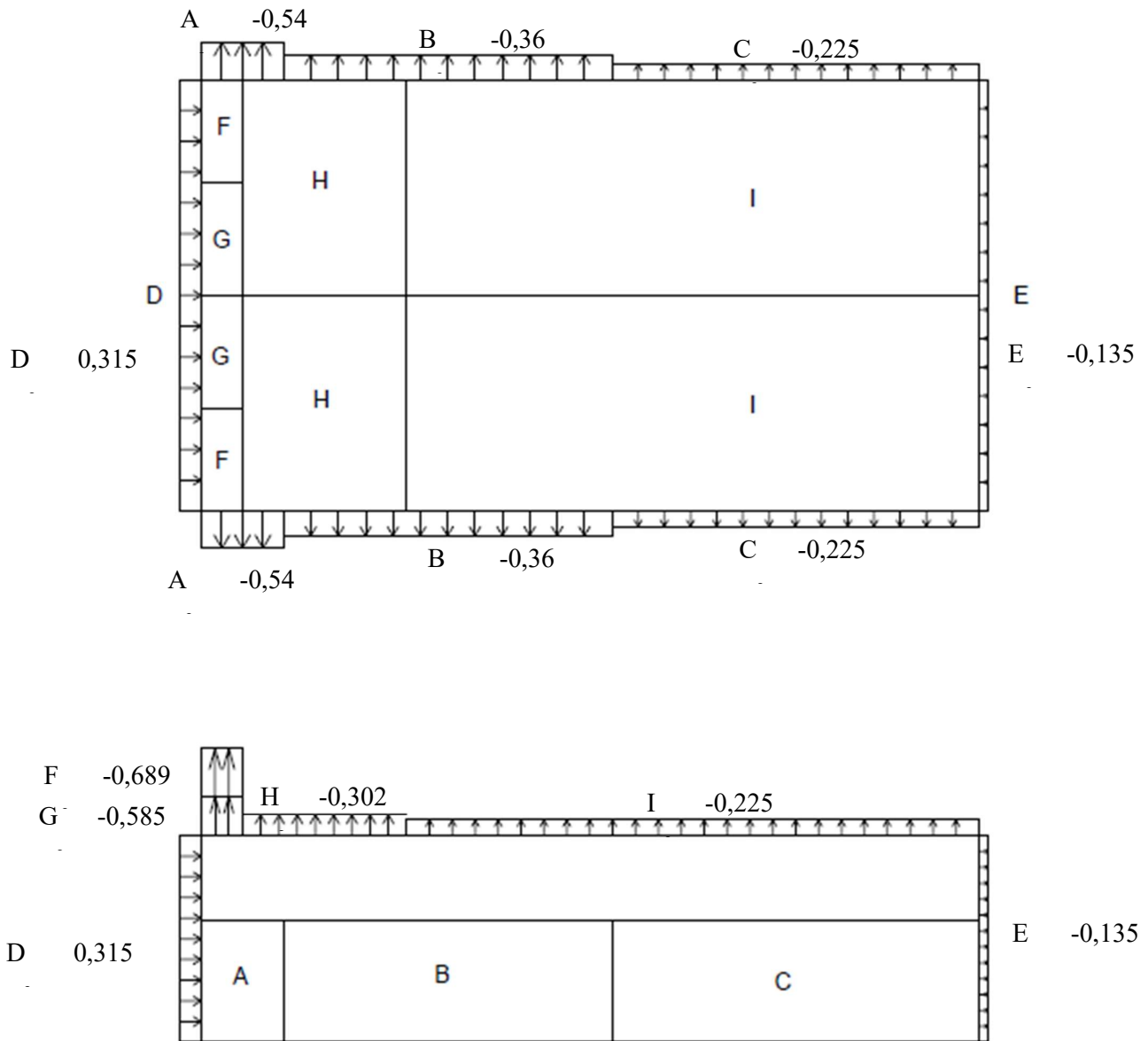
		Područje							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Nagib krovista $\alpha$	-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
	-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
	-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
	-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
	5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,5	
	15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
	30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
	45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
	60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
	75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Tablica 3.3.4.2. Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove,  $\varphi = 90^\circ$

	Horizontalne površine [m <sup>2</sup> ]	$c_{pe}$	$w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]
			$w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$
F	14,11	-1,53	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-1,53) = -0,689$
G	15,59	-1,3	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-1,3) = -0,585$
H	118,80	-0,67	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,67) = -0,302$
I	414,00	-0,5	$0,25 \cdot 1,8 \cdot (-0,5) = -0,225$

Tablica 3.3.4.3. Pritisak vjetra na dvostrešni krov – longitudinalni smjer

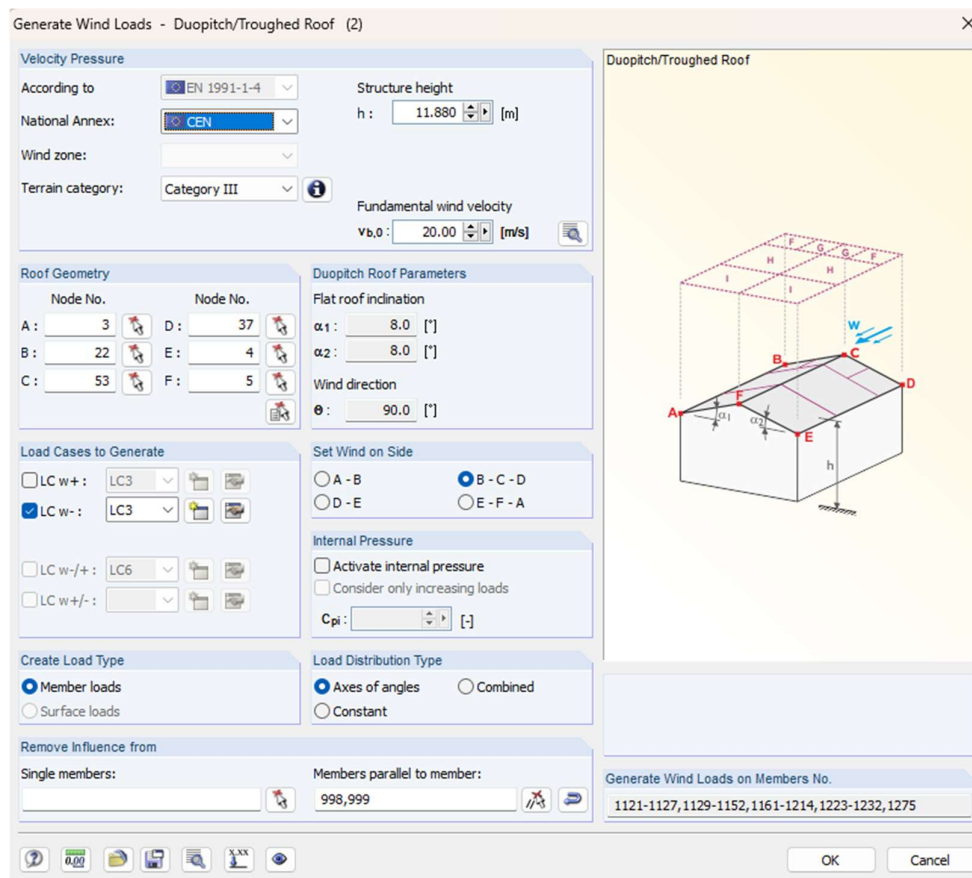
Djelovanja na skicama dobivena su ručnim proračunom.



Slika 3.3.6.3. Shema djelovanja vjetra na halu u uzdužnom smjeru

### 3.3.7. Generiranje opterećenja vjetrom na krov u Dlubalu

Na isti se način generiraju opterećenja vjetrom na krov. Potrebno je samo ovaj puta označiti rubne točke krova na koji djeluje vjetar i podesiti stranu sa koje vjetar puše. Na slici 3.3.7.1. prikazano je sučelje u kojem se nanosi vjetar na krov konstrukcije u smjeru x. Također biramo na kojim poprečnim presjecima vjetar ne djeluje. S obzirom na to da vjetar djeluje na gornji pojas rešetke, potrebno je na modelu odabrati da vjetar ne djeluje na sekundarnu krovnu konstrukciju. Mijenjanjem smjera vjetra, na grafičkom prikazu mijenjaju se i zone (F-I).



Slika 3.3.7.1.: Nanošenje opterećenja vjetrom na dvostrešni krov (snimka zaslona)

Dlubal sam računa i prikazuje rezultate, odnosno koeficijente vanjskog tlaka i vrijednosti opterećenja vjetrom po zonama. Definira i druge veličine koje možemo vidjeti na slici 3.3.7.2.

Info About Generation of Wind Loads - Duopitch/Troughed Roof

**Duopitch Roof Dimensions**

h : 11.880 [m]      b<sub>F</sub> : 5.940 [m]  
 b : 25.000 [m]      d<sub>F</sub> : 2.376 [m]  
 d : 45.000 [m]      d<sub>H</sub> : 9.504 [m]  
 e : 23.760 [m]      d<sub>I</sub> : 33.120 [m]  
 A : 1135.971 [m<sup>2</sup>]      d<sub>J</sub> : - [m]  
 α<sub>1</sub> : 8.0 [°] | α<sub>1</sub> ≥ 5 °      θ : 90.0 [°]  
 α<sub>2</sub> : 8.0 [°] | α<sub>2</sub> ≥ 5 °

**LC3**

Zone	External Pressure C <sub>pe,10</sub>	External Pressure w <sub>e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1.511	-0.69
G	-1.300	-0.59
H	-0.670	-0.31
I	-0.570	-0.26
J	-	-

Generated Total Wind Loads      Total Moments to Origin

Σ P<sub>Area</sub> : 325.623 [kN]      8950.650 [kNm]  
 Σ P : 325.598 [kN]      8949.950 [kNm]

**Cells Selected for Generation**

Σ Number of cells: 50      Σ Cell area: 2095.640 [m<sup>2</sup>]

Generate Wind Loads on Members No.  
 1121-1127, 1129-1152, 1161-1214, 1223-1232, 1275

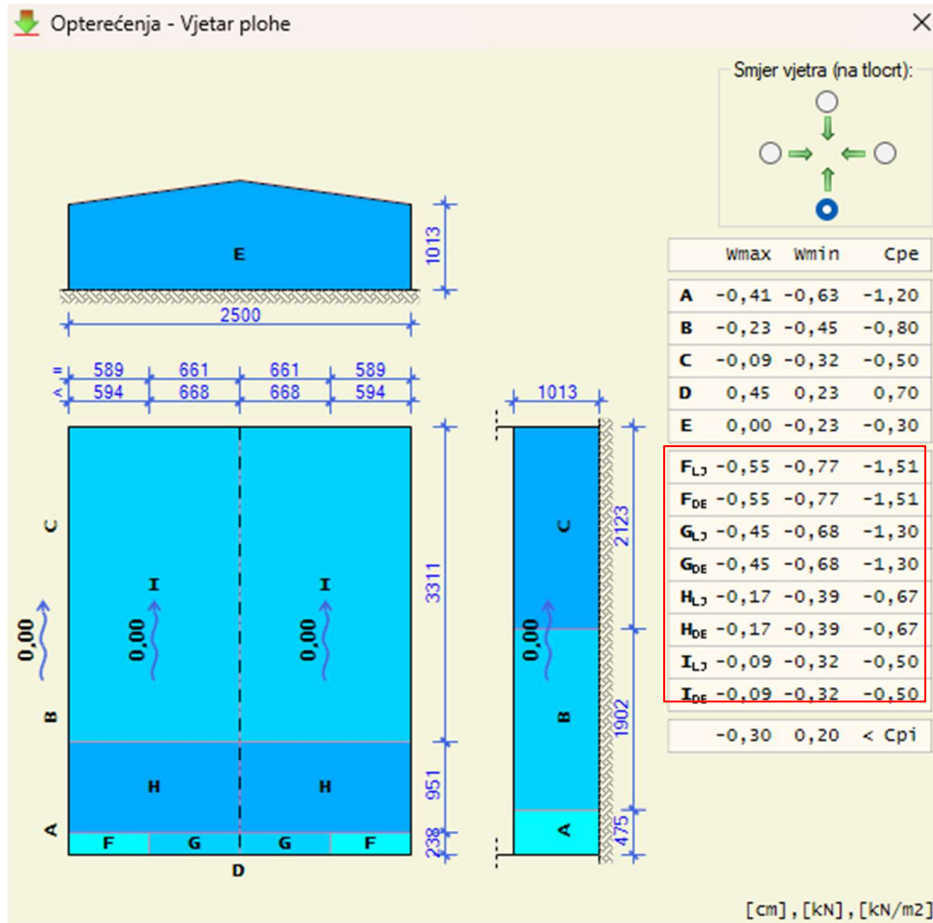
**Duopitch/Troughed Roof**

OK      Cancel

Slika 3.3.7.2.: Prikaz dobivenih vrijednosti opterećenja vjetrom na dvostrešni krov (snimka zaslona)

### 3.3.8. REZULTATI PROGRAMA „OPTEREĆENJA“ ZA KROV

Slikom 3.3.8.1. prikazani su rezultati opterećenja vjetrom na krov u uzdužnom smjeru. Prikazani su koeficijenti vanjskog tlaka i pritisak vjetra na dvostrešni krov hale.



Slika 3.3.8.1. Uzdužno djelovanje vjetra na dvostrešni krov (snimka zaslona)



## 4. Statički proračun u Dlubal-u

### 4.1. Materijali

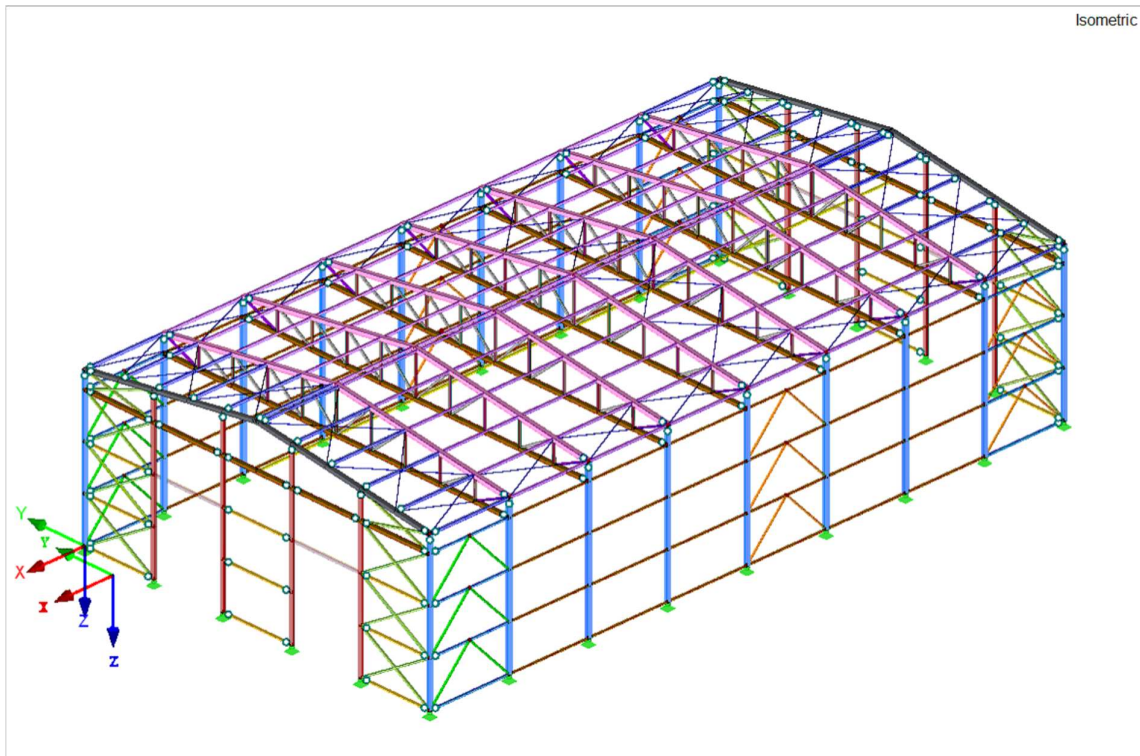
Za cijeli statički proračun čelične hale korišten je samo jedan materijal. U sljedećoj tablici 4.1.1. možemo vidjeti karakteristike čelika odabranog za statički proračun. Navedena je i norma iz koje su preuzete značajke materijala. [6]

1.3 Materials							
Matl.	Modulus	Modulus	Poisson's Ratio	Spec. Weight	Coeff. of Th. Exp.	Partial Factor	Material
No.	E [kN/cm <sup>2</sup> ]	G [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [1/°C]	$\gamma_M$ [-]	Model
3	Steel S 355   EN 10025-2:2004-11						
	21000.00	8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotropic Linear Elastic

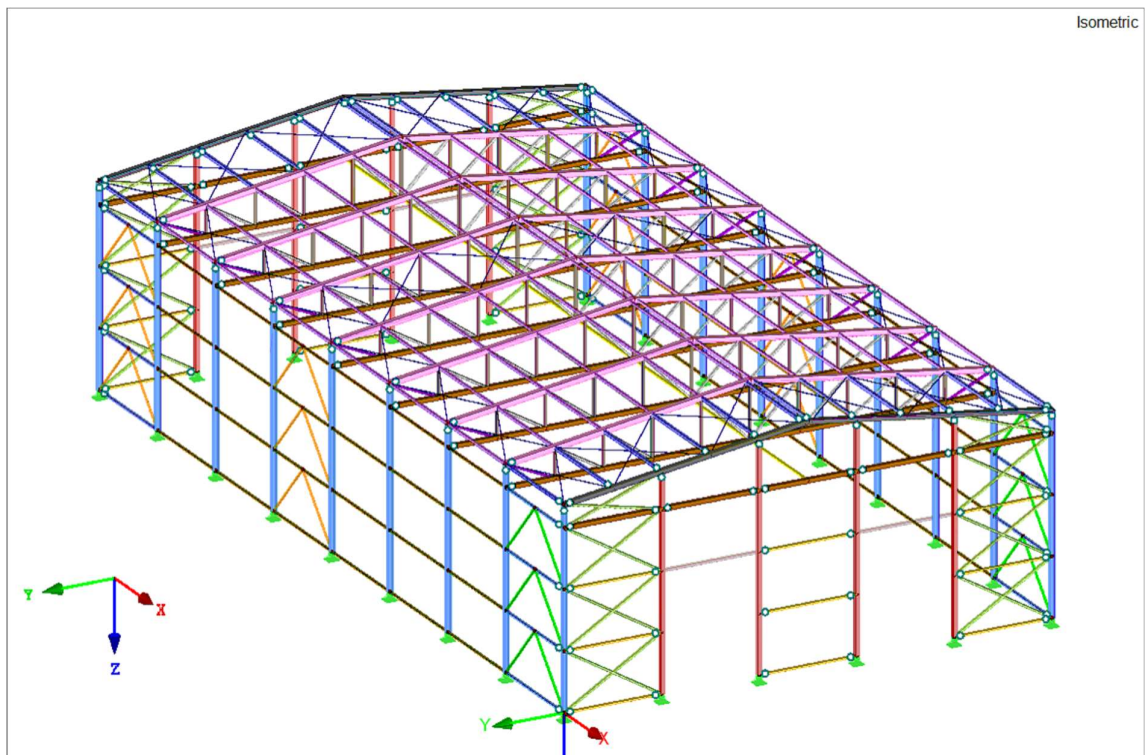
*Tablica 4.1.1.: Karakteristike čelika S355*

## 4.2. Model čelične hale

Na sljedećim slikama nalaze se prikazi modela hale i planovi pozicija poprečnih profila.

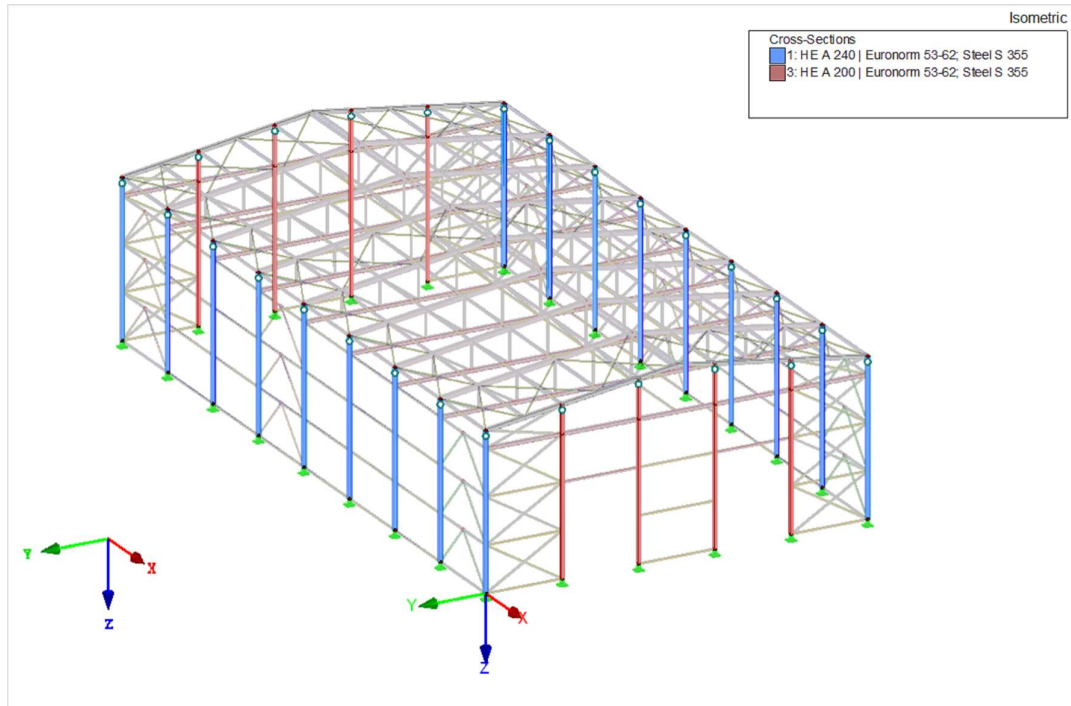


*Slika 4.2.1.: Izometrijski prikaz hale iz jednog pogleda*



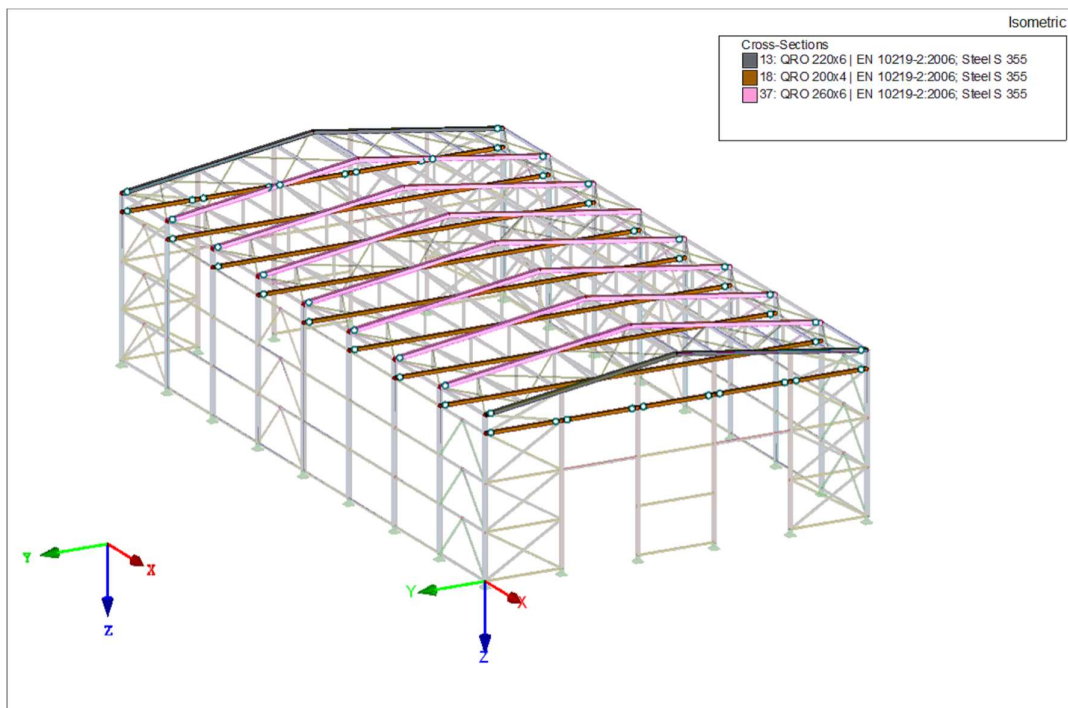
*Slika 4.2.2.: Izometrijski prikaz hale iz drugog pogleda*

## Stupovi



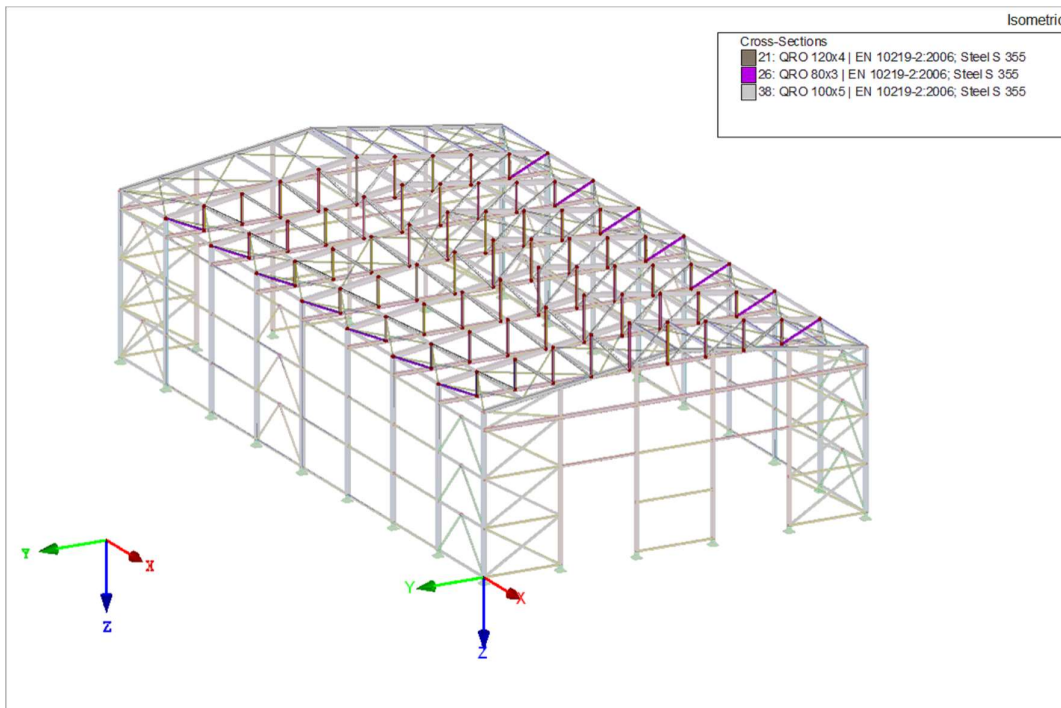
Slika 4.2.3.: Plan pozicije stupova

## Gornji i donji pojas rešetke



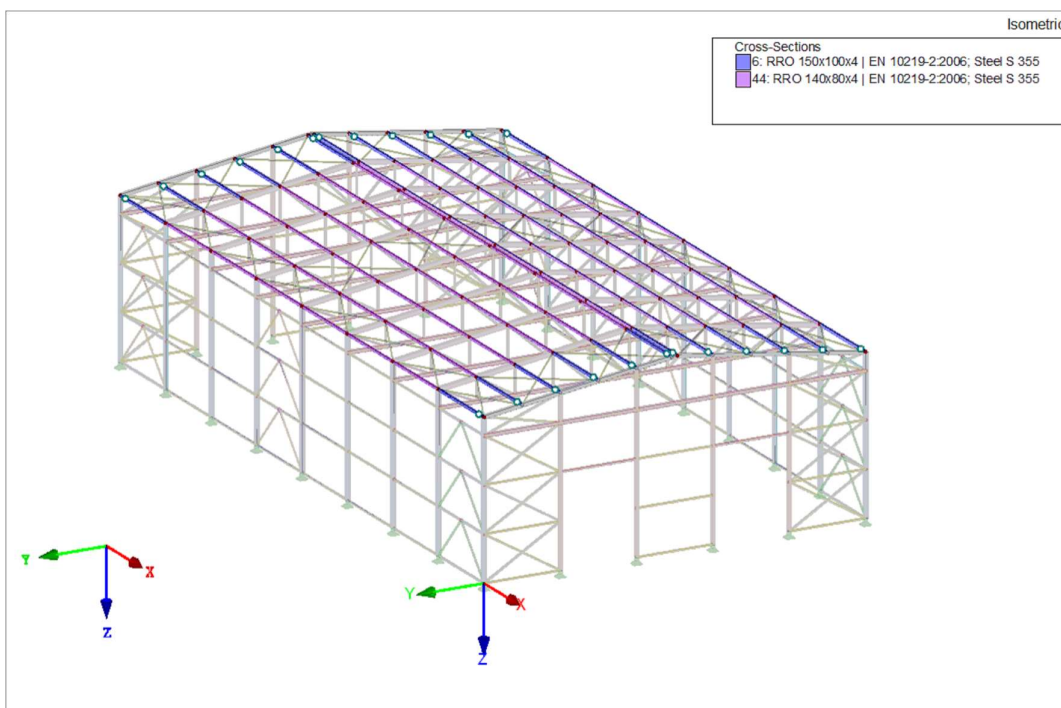
Slika 4.2.4.: Plan pozicije gornjeg i donjeg pojasa rešetke

## Ispuna rešetke



Slika 4.2.5.: Plan pozicije ispune rešetke

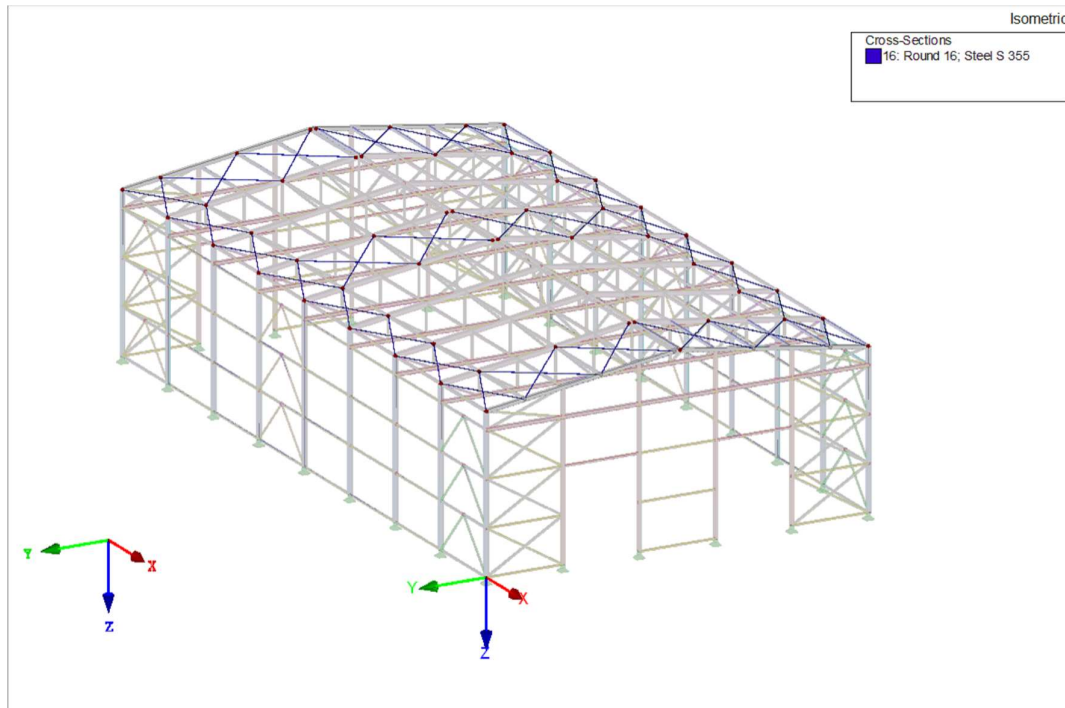
## Sekundarna krovna konstrukcija



Slika 4.2.6.: Plan pozicije sekundarne krovne konstrukcije

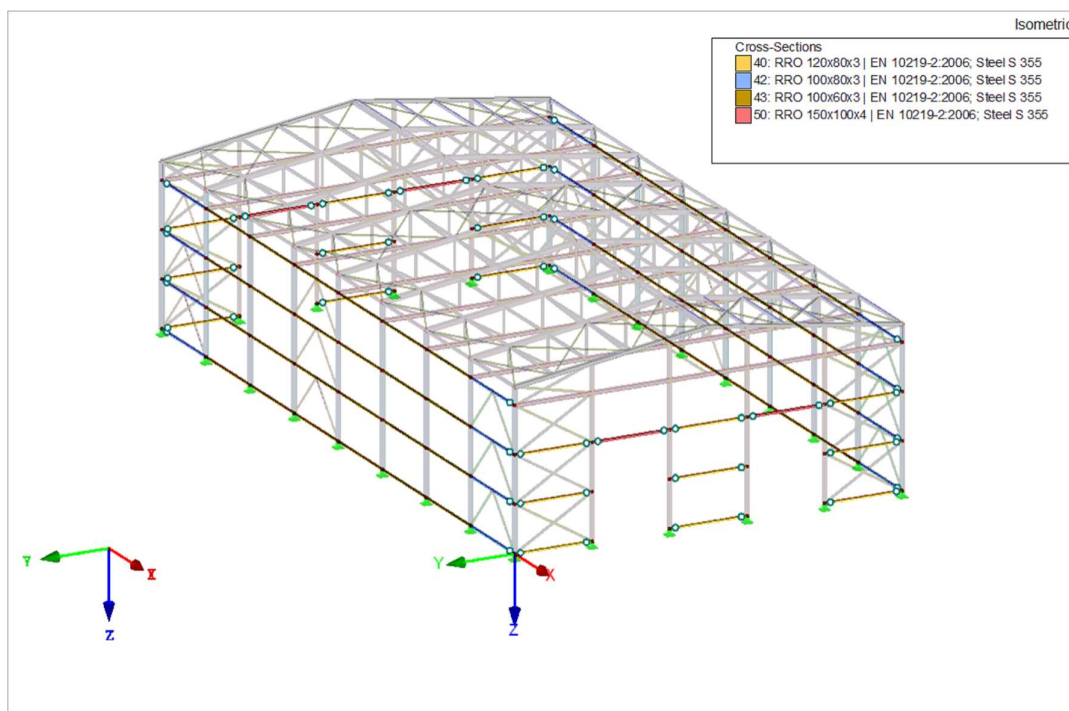


## Krovni spregovi



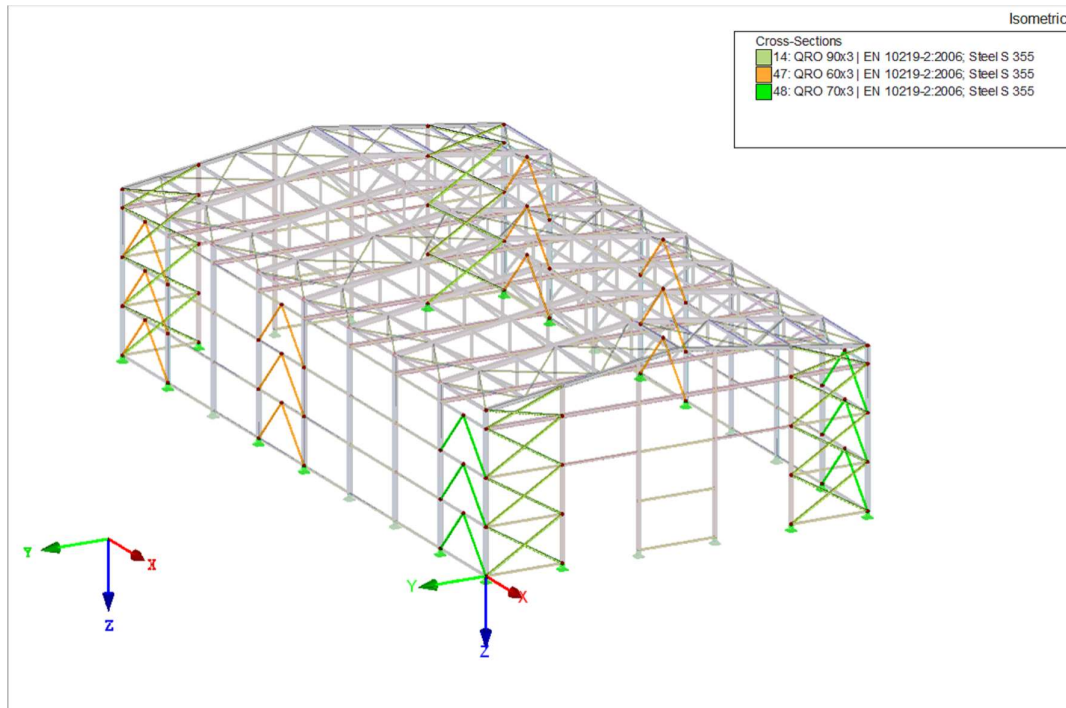
Slika 4.2.7.: Plan pozicije krovnih spregova

## Fasadni nosači



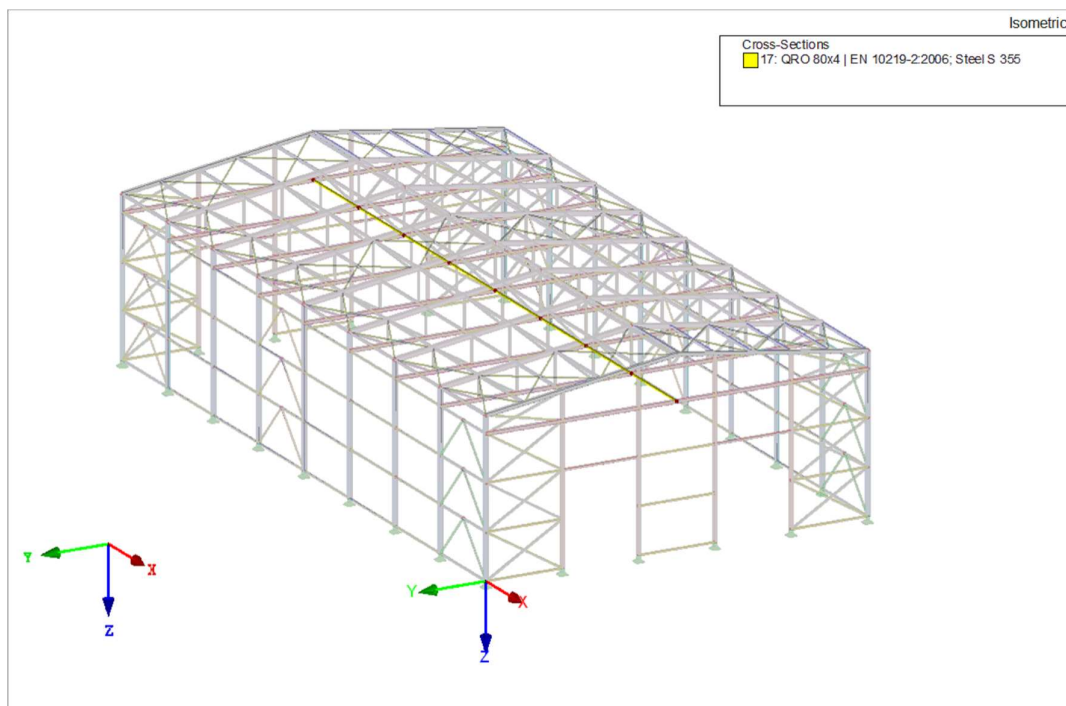
Slika 4.2.8.: Plan pozicije fasadnih nosača

## Verikalni spregovi



Slika 4.2.9.: Plan pozicije vertikalnih spregova

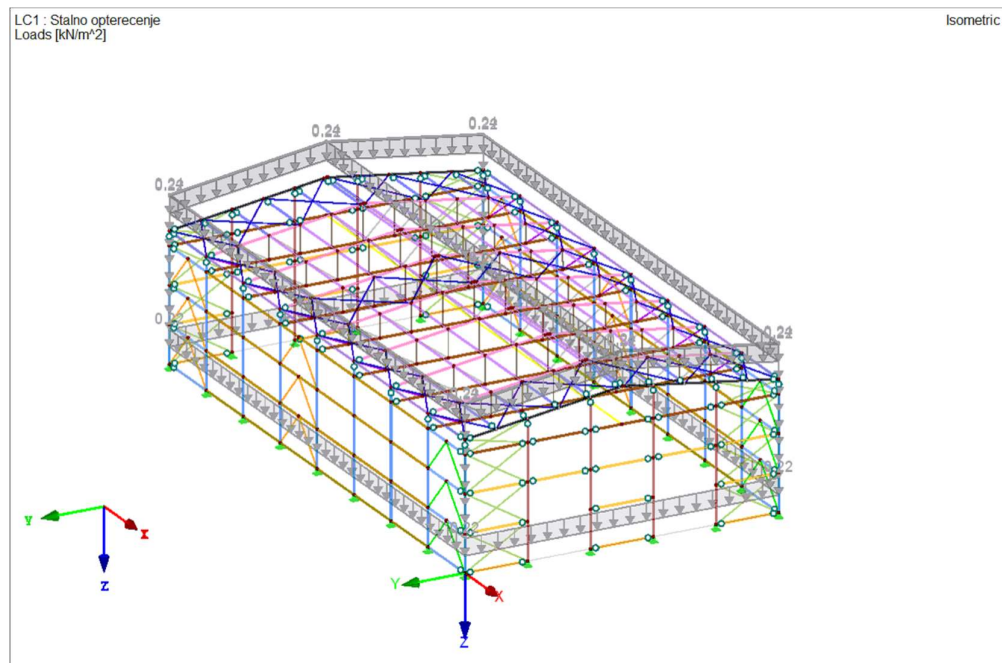
## Bočna pridrzanja



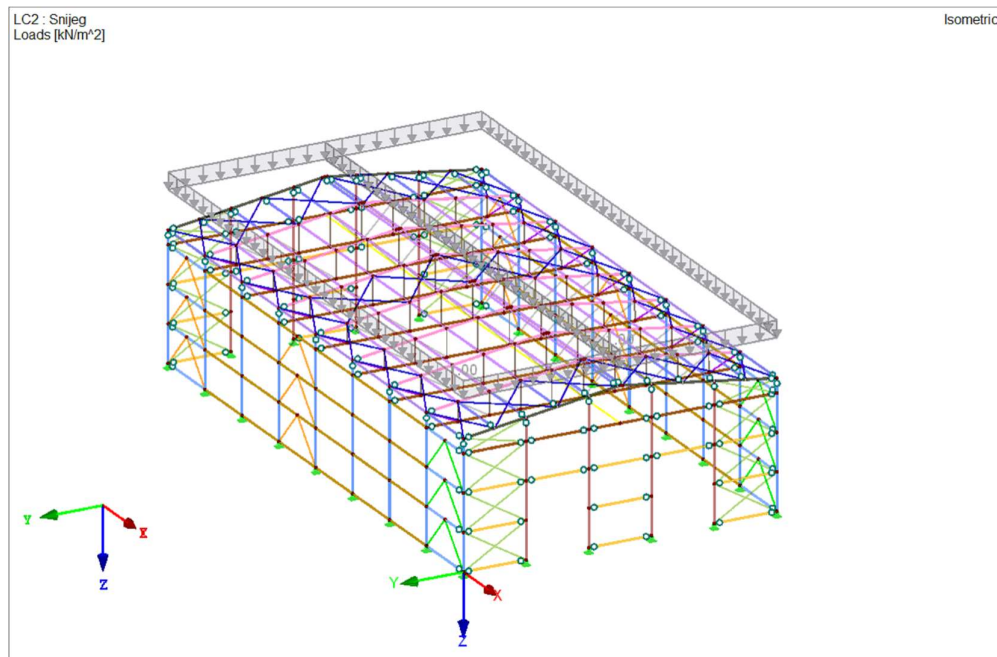
Slika 4.2.10.: Plan pozicije bočnih pridrzanja

### 4.3. Opterećenja

Računalni program Dlubal sam uzima u obzir vlastitu težinu same konstrukcije, a u radu su prikazana dodatna opterećenja, stalno i opterećenje snijegom, koja djeluju na čeličnu konstrukciju.

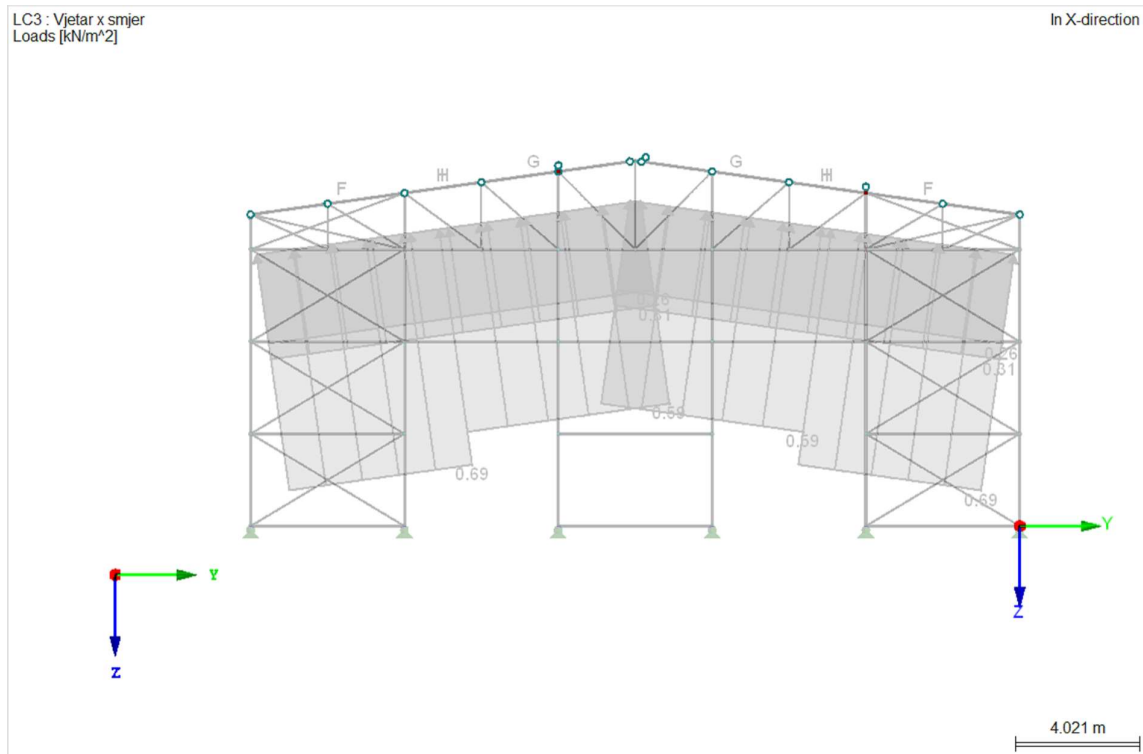


*Slika 4.3.1.: Stalno opterećenje*

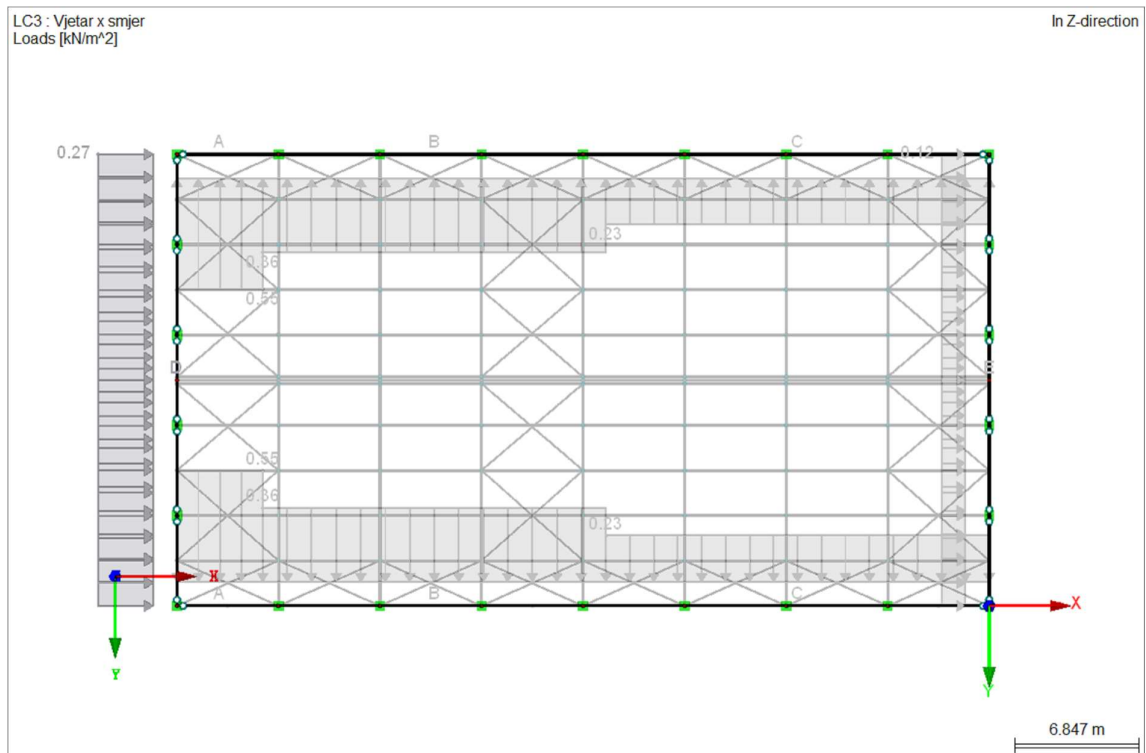


*Slika 4.3.2.: Opterećenje snijegom*

## Opterećenje vjetrom

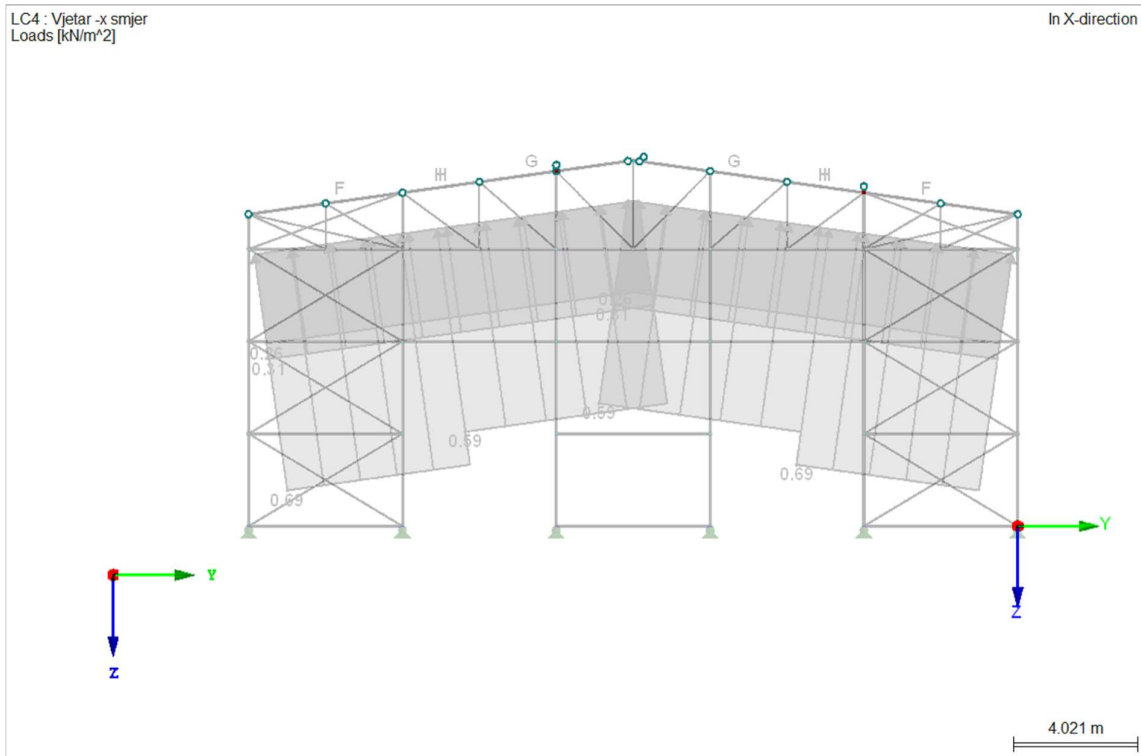


Slika 4.3.3.: Opterećenje vjetrom na dvostrušni krov u smjeru x

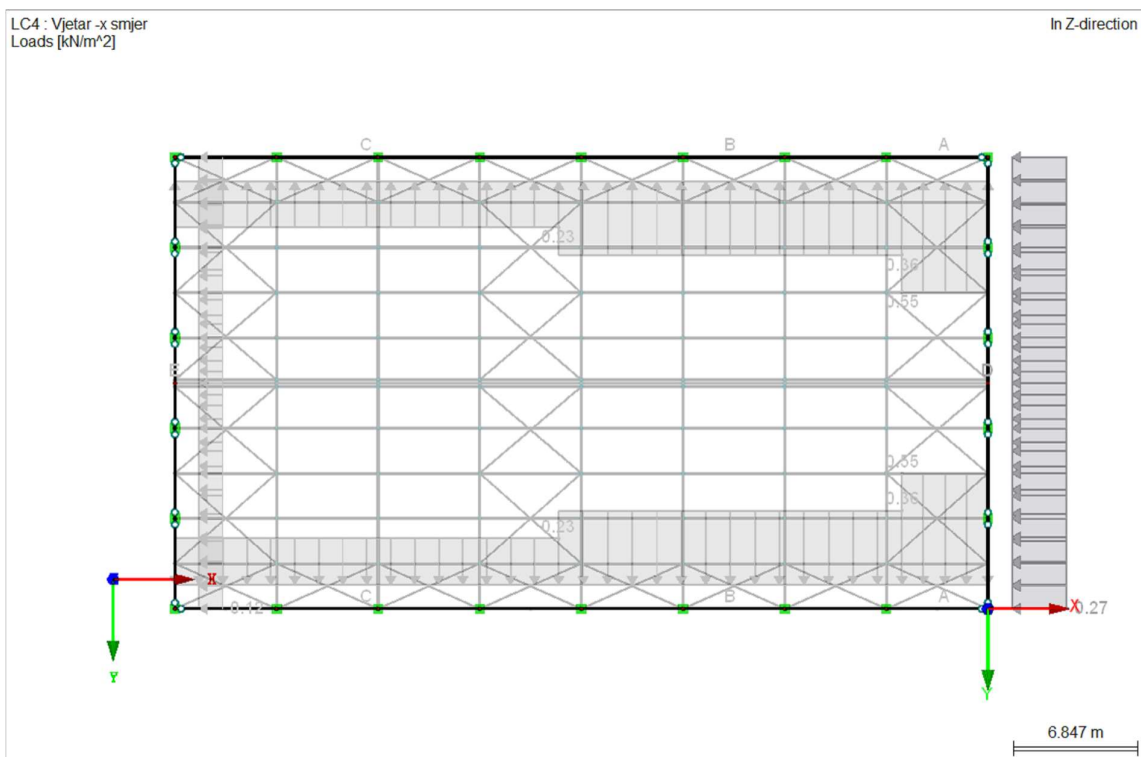


Slika 4.3.4.: Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru x

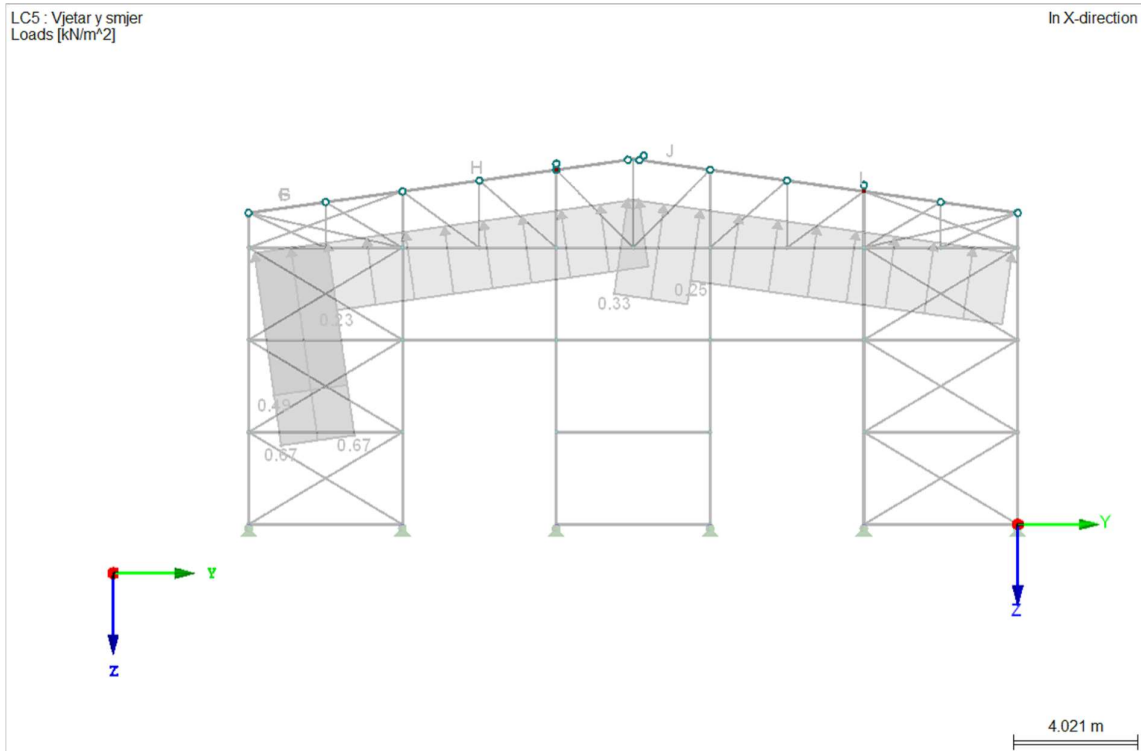




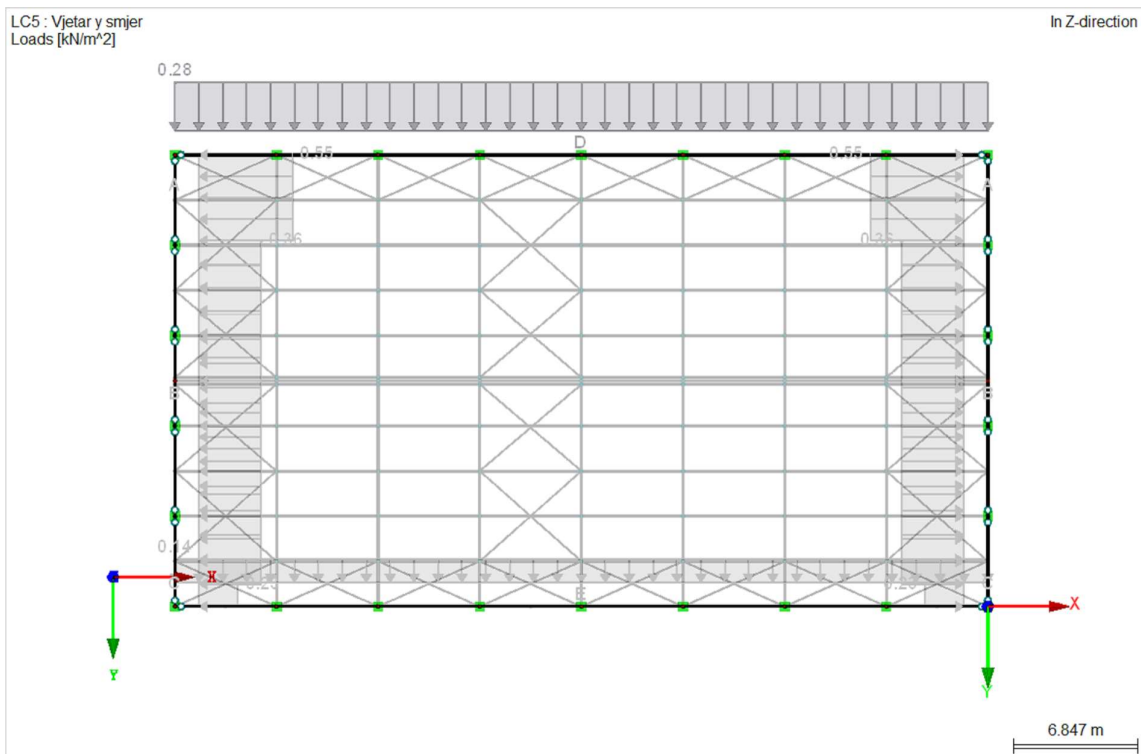
Slika 4.3.5.: Opterećenje vjetrom na dvostrušni krov u smjeru -x



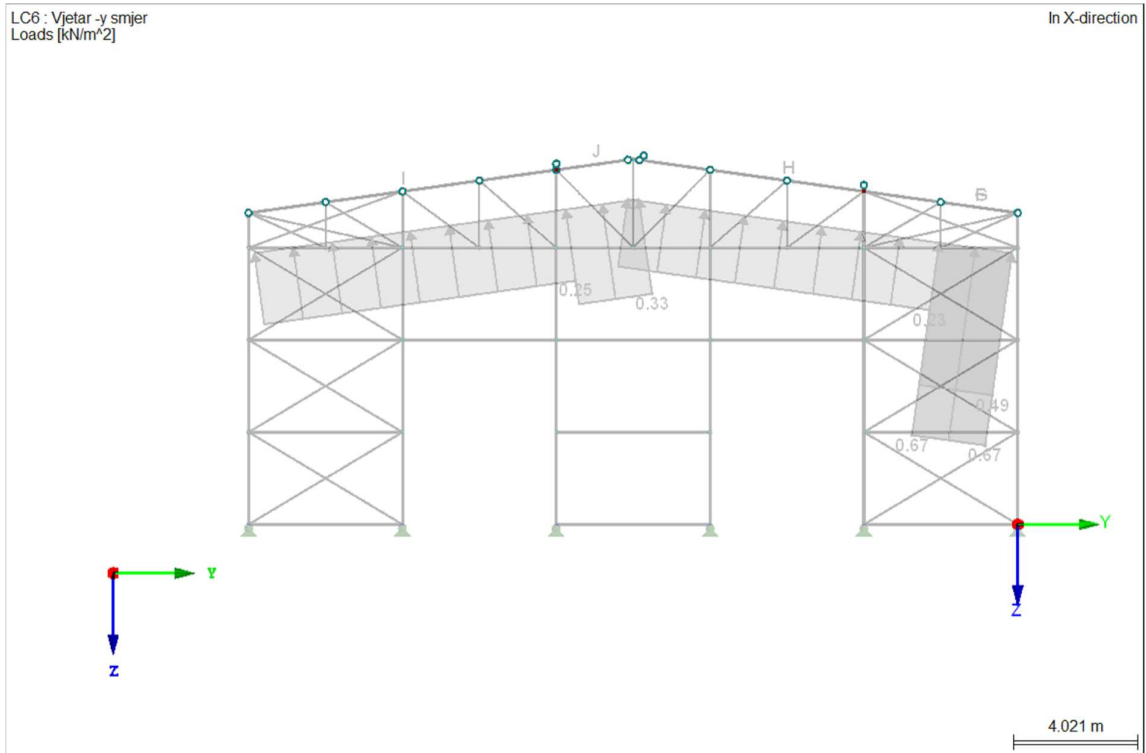
Slika 4.3.6.: Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru -x



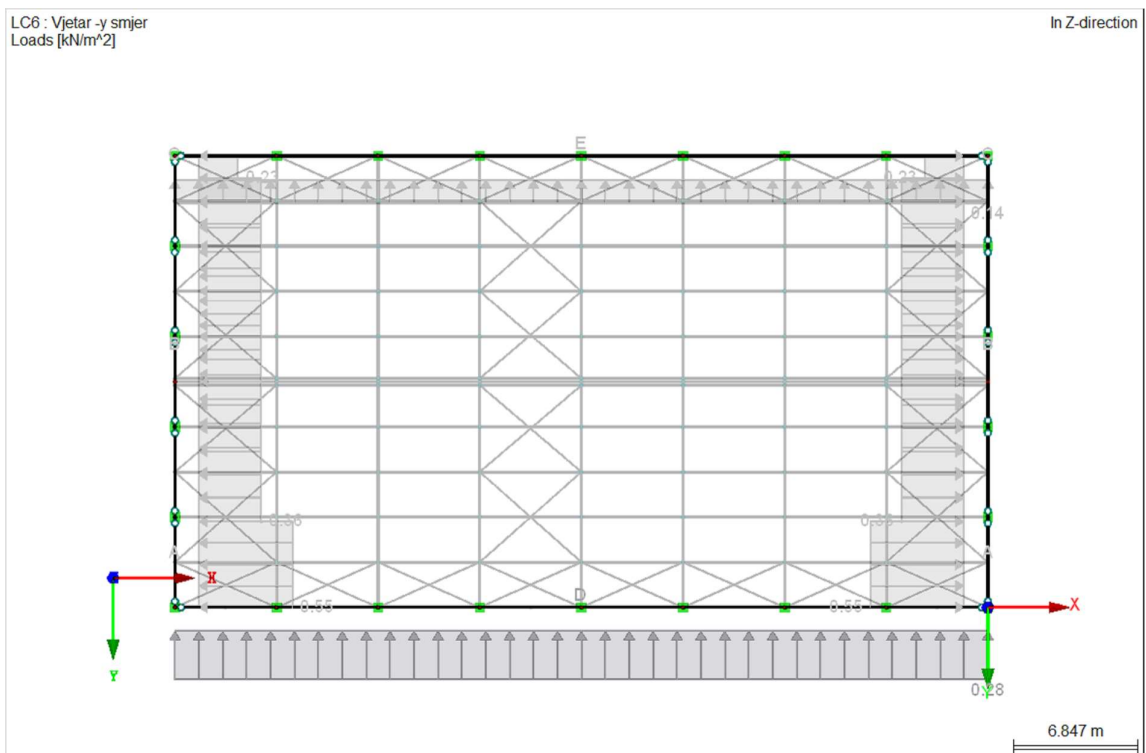
Slika 4.3.7.: Opterećenje vjetrom na dvostrešni krov u smjeru y



Slika 4.3.8.: Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru y



Slika 4.3.9.: Opterećenje vjetrom na dvostrušni krov u smjeru -y

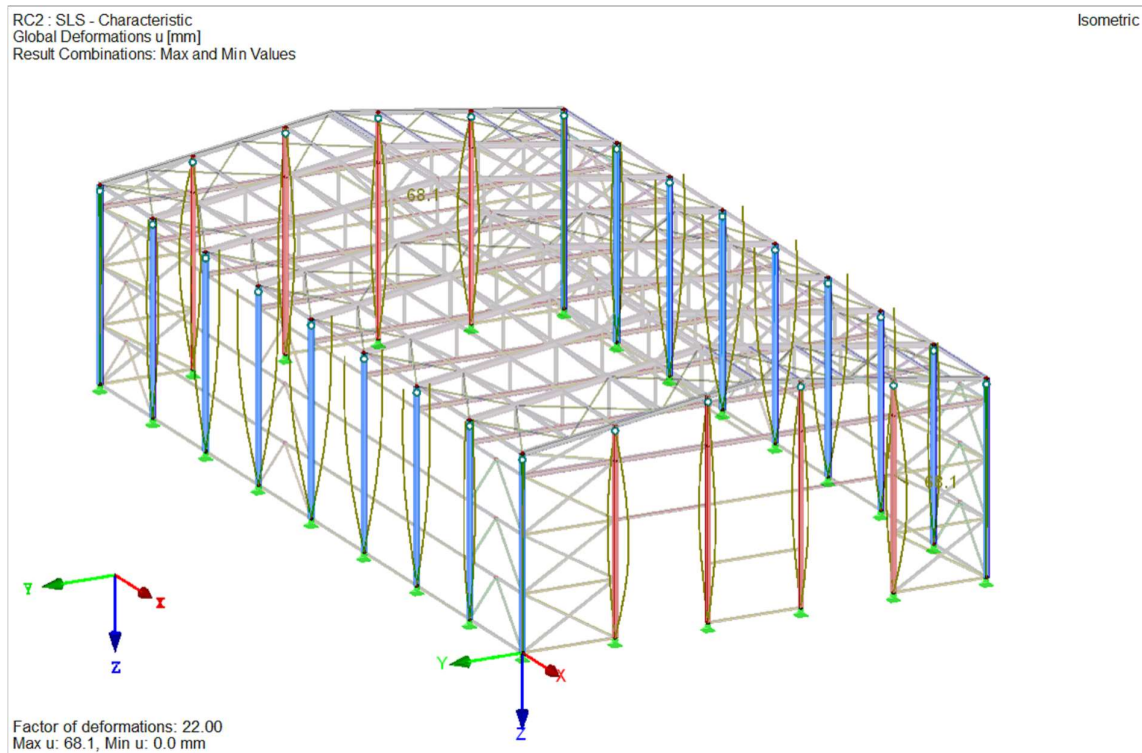


Slika 4.3.10.: Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru -y

#### 4.4. Provjera deformacija prema graničnom stanju uporabljivosti

Progibe kontroliramo prema graničnom stanju uporabivosti. Ovo granično stanje može nastati kada neka građevina više ne služi svojoj svrsi zbog prevelikih pomaka, deformacija i progiba. Zato je potrebno provesti kontrolu progiba, odnosno provjeriti deformacije konstrukcije.

##### Stupovi



Slika 4.4.1.: Horizontalni pomak stupa

Dopušteni horizontalni pomak:

$$\frac{L}{150} = \frac{11530}{150} = 76,87 \text{ mm} = 7,87 \text{ cm}$$

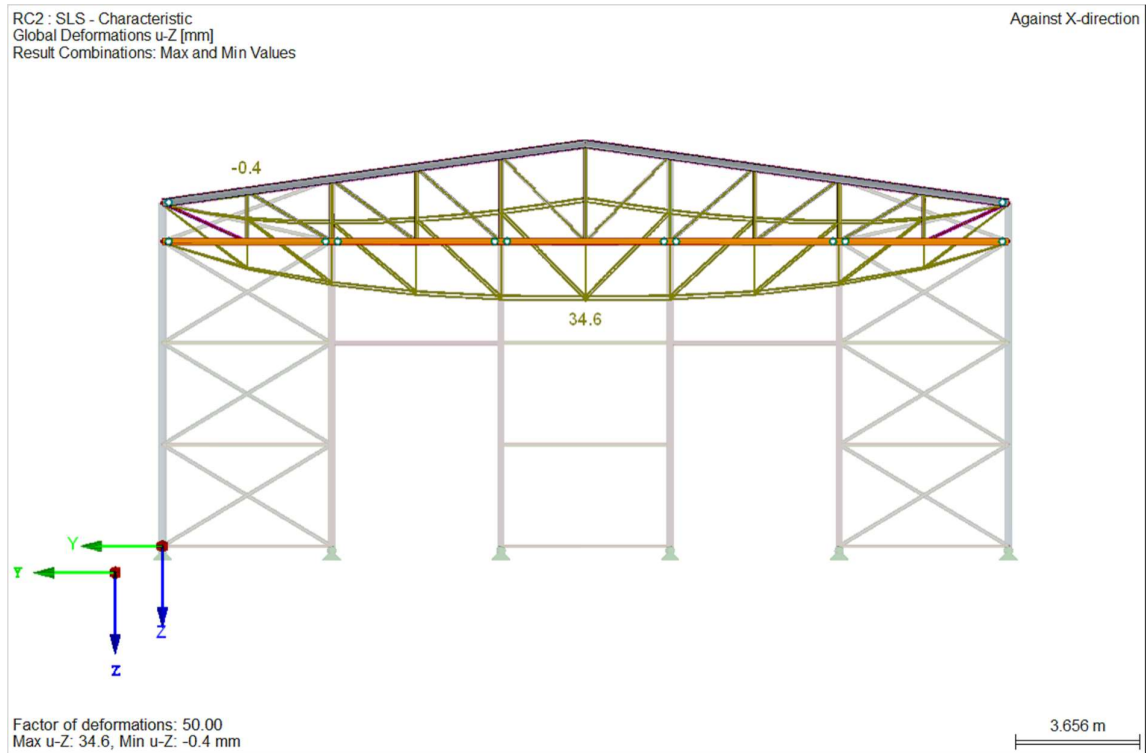
Stvarni horizontalni pomak:

6,81 cm

$$6,81 < 7,87$$

ZADOVOLJAVA!

## Rešetka



Slika 4.4.2.: Deformacije rešetke

Dopušteni progib:

$$\frac{L}{250} = \frac{25000}{250} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$$

Stvarni progib:

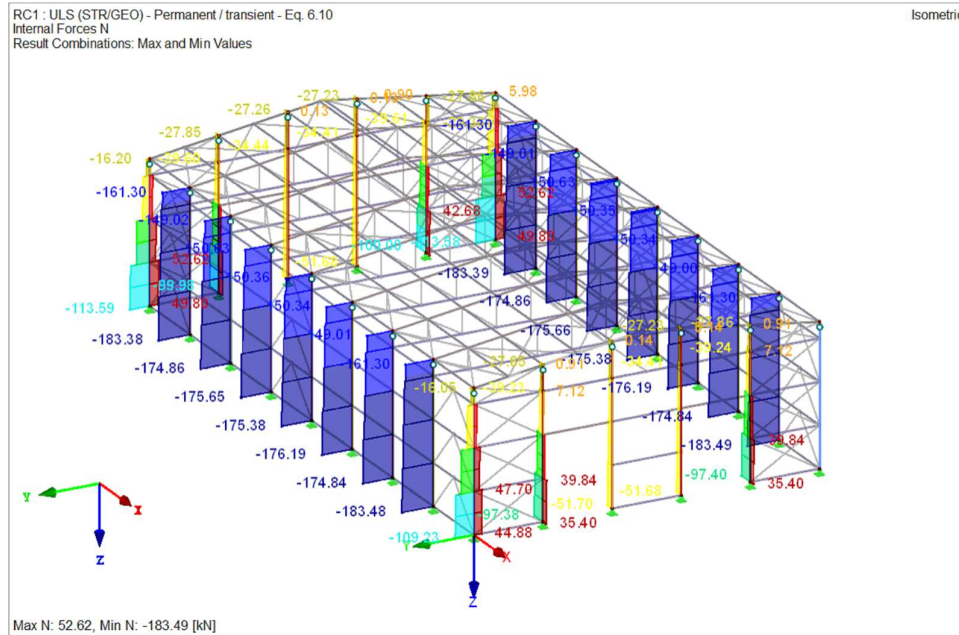
3,46 cm

3,46 < 10  
ZADOVOLJAVA!

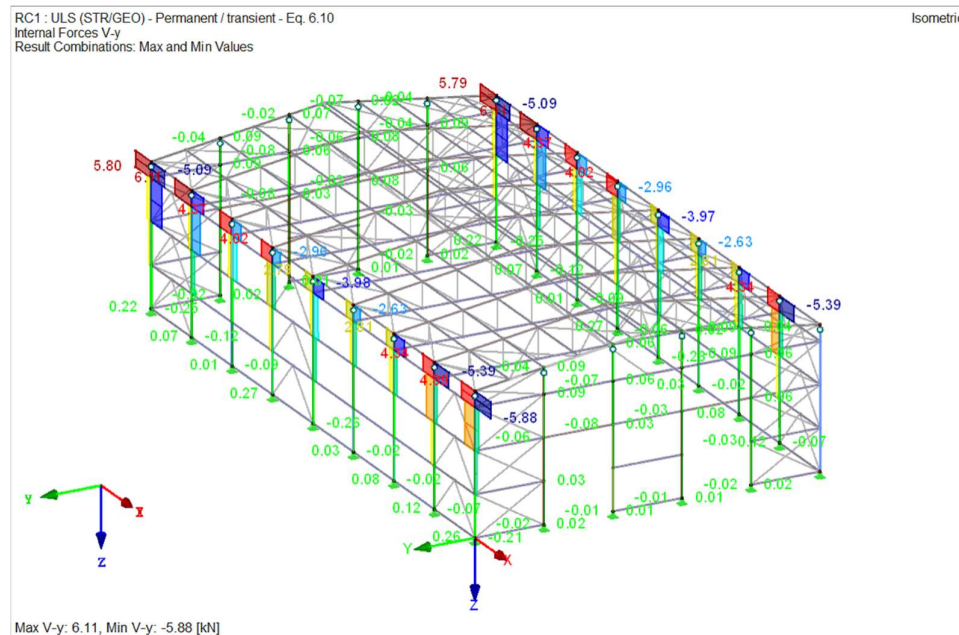
## 4.5. Unutarnje sile

Unutarnje sile su one sile koje su posljedica djelovanja vanjskih sila. To su: uzdužne sile, poprečne sile, momenti savijanja i momenti torzije.

### Stupovi

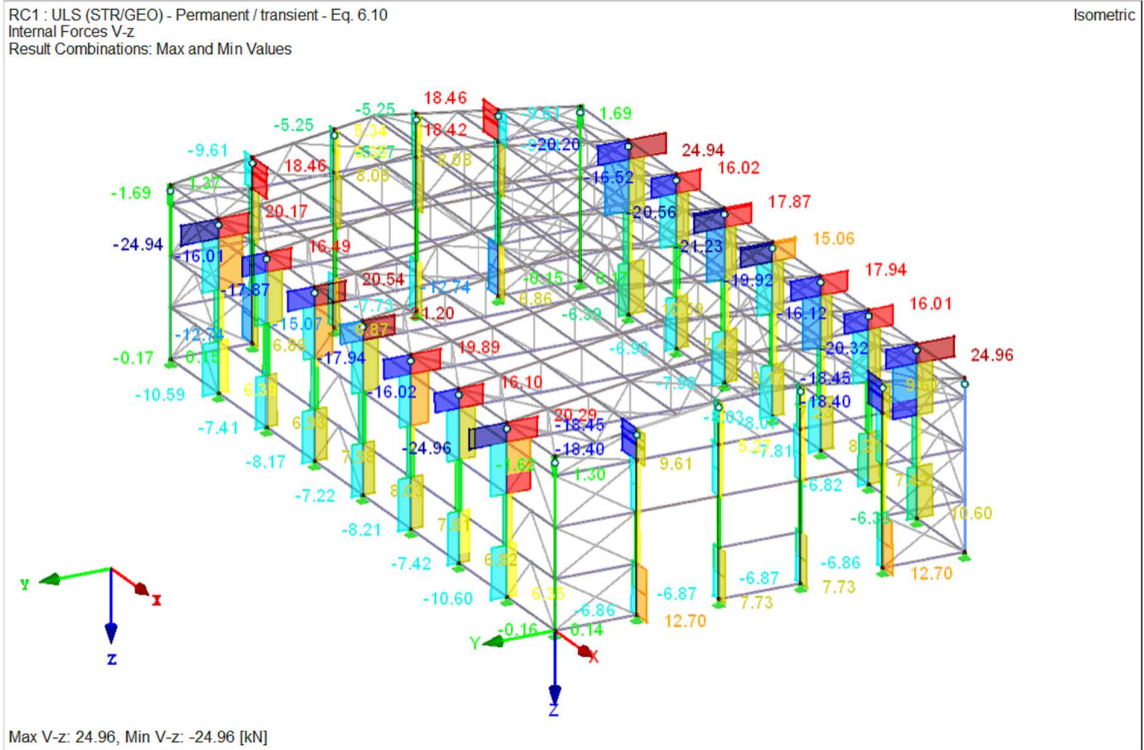


Slika 4.5.1.: Uzdužne sile u stupovima

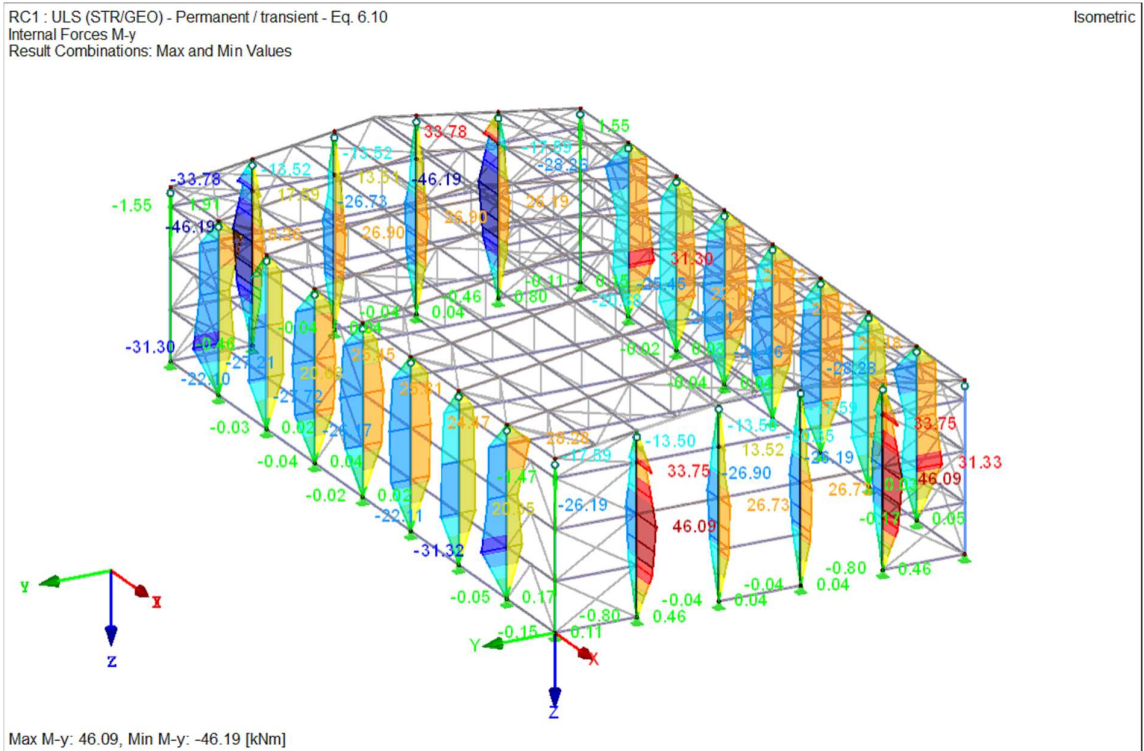


Slika 4.5.2.: Poprečne sile u smjeru y u stupovima

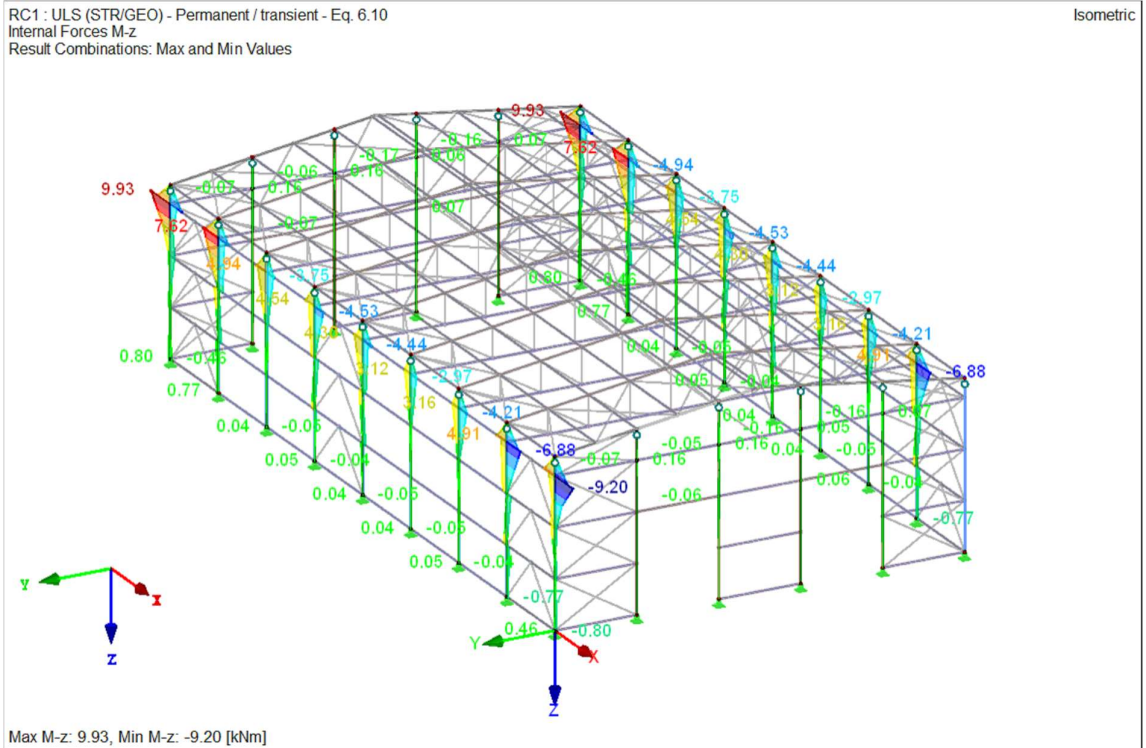




Slika 4.5.3.: Poprečne sile u smjeru z u stupovima



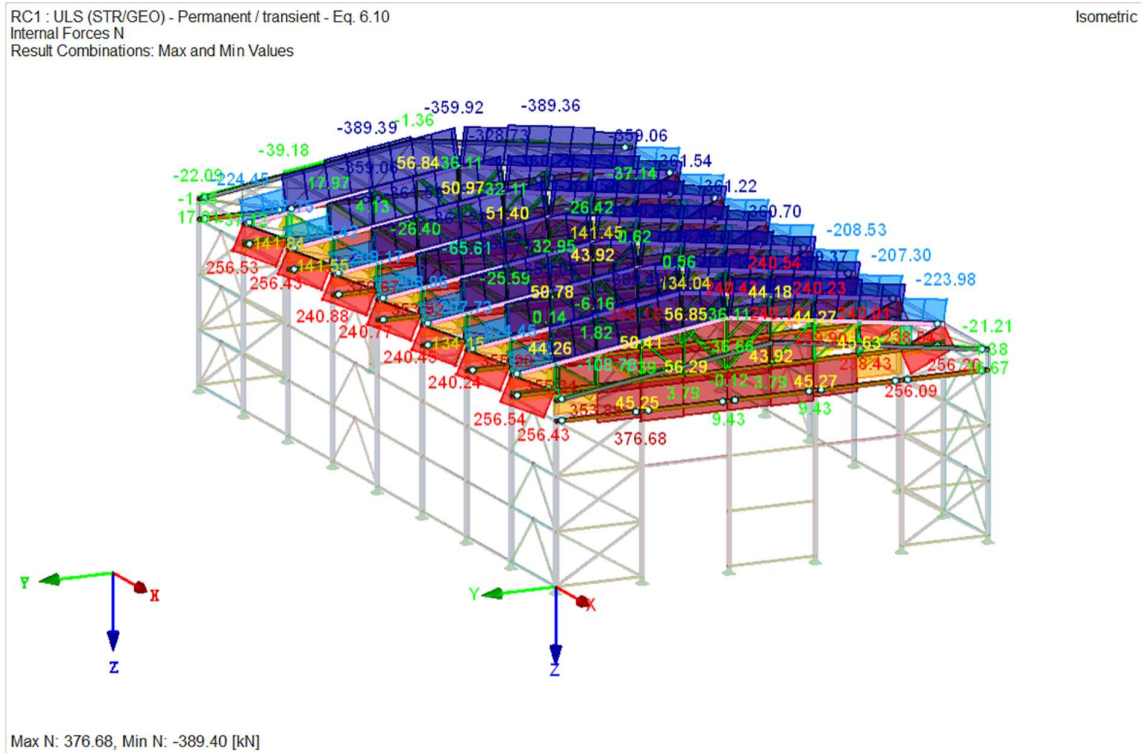
Slika 4.5.4.: Momenti savijanja u smjeru y u stupovima



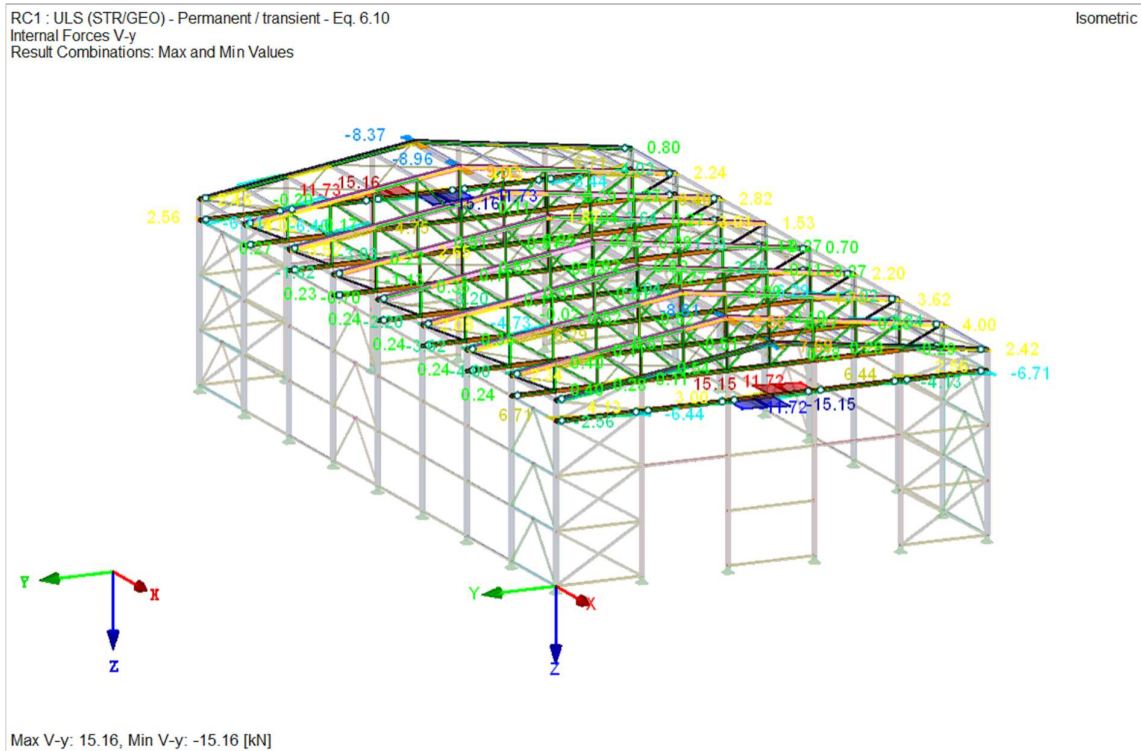
*Slika 4.5.5.: Momenti savijanja u smjeru z u stupovima*



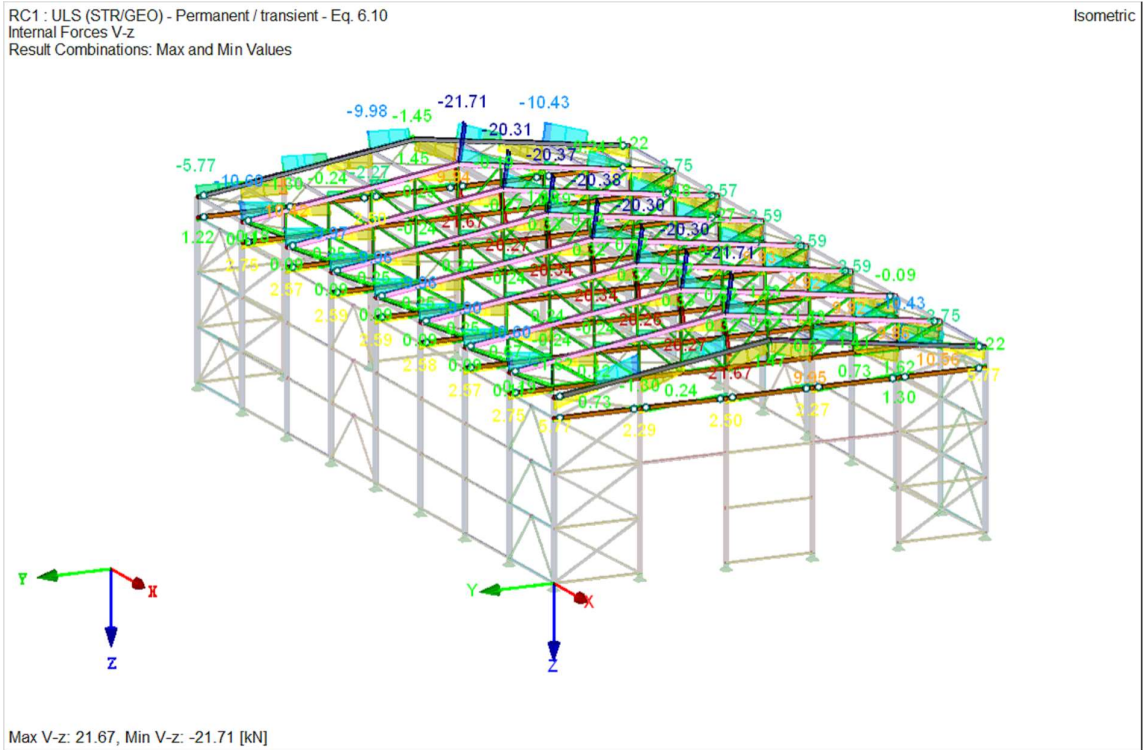
# Rešetka



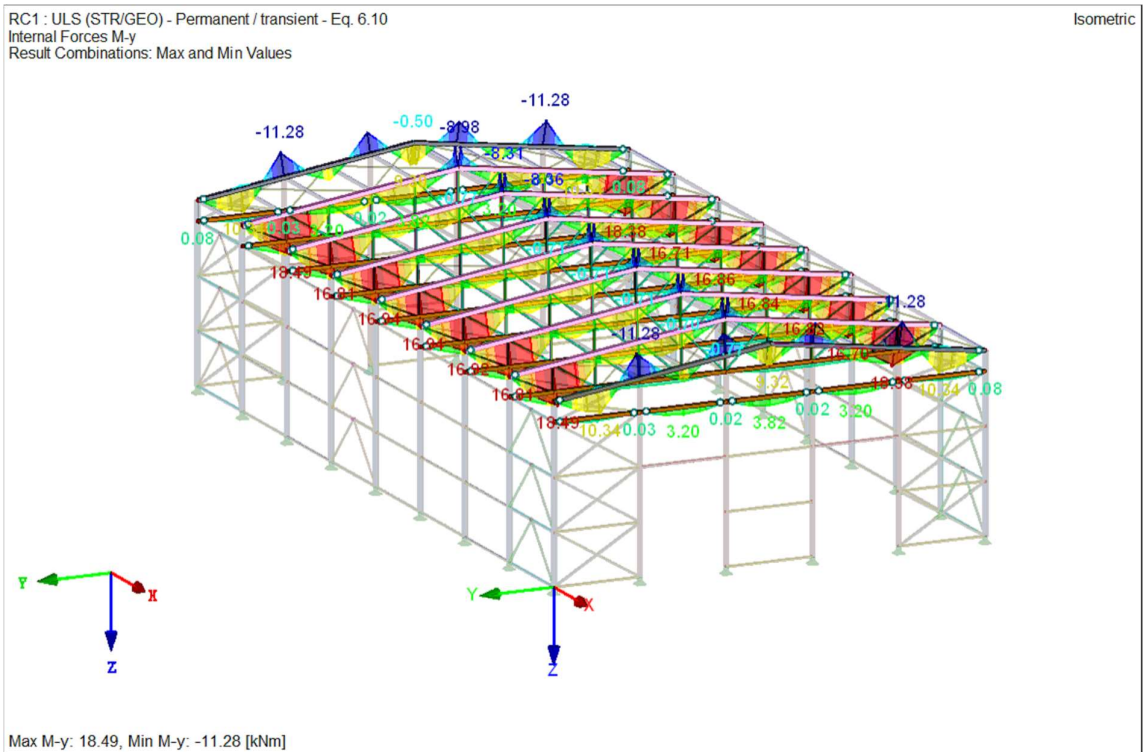
Slika 4.5.6.: Uzdužne sile u rešetki



Slika 4.5.7.: Poprečne sile u smjeru y u rešetki



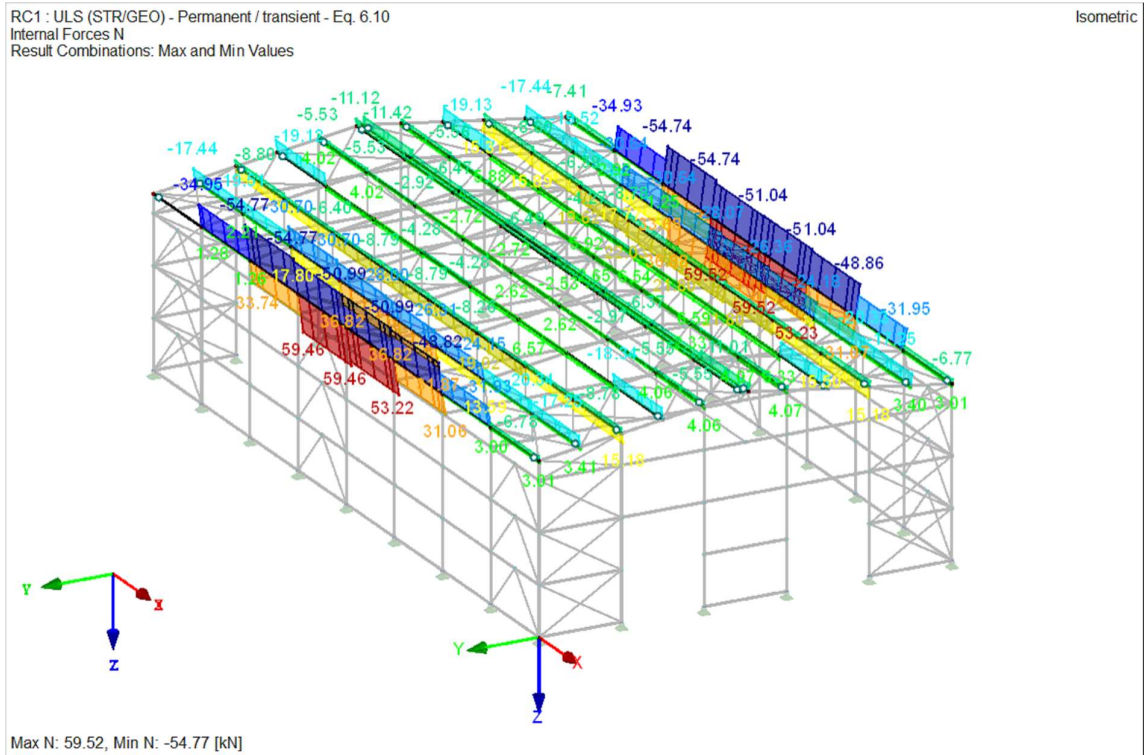
Slika 4.5.8.: Poprečne sile u smjeru z u rešetki



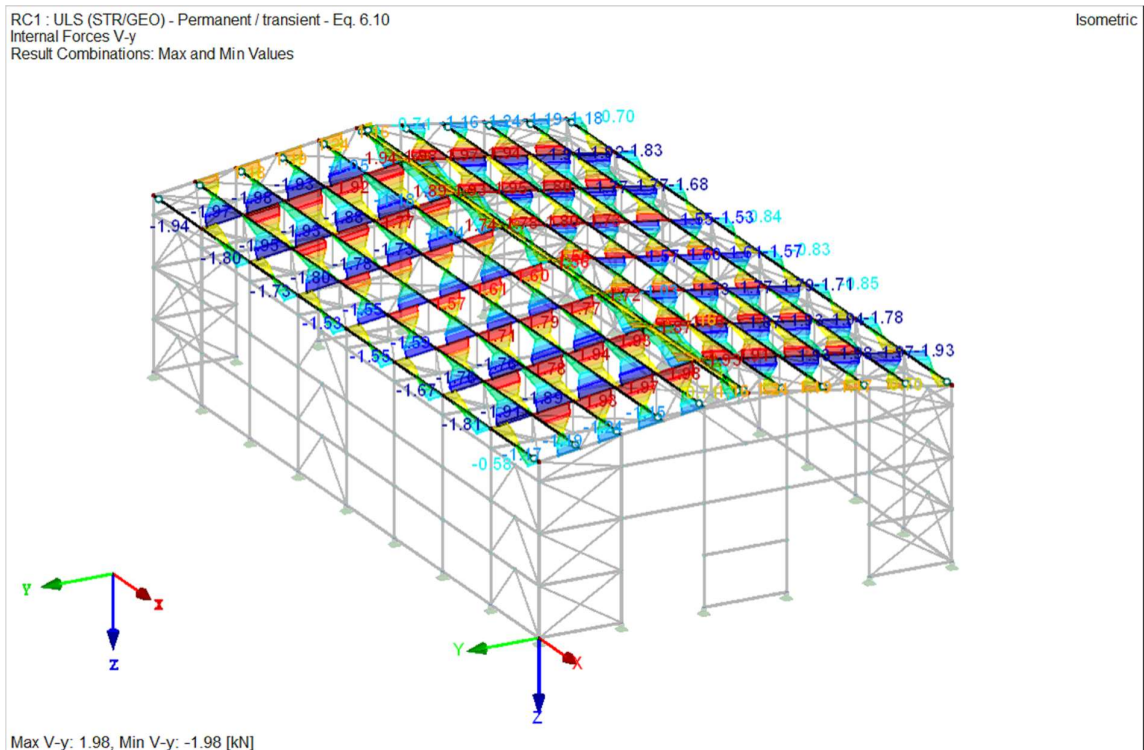
Slika 4.5.9.: Momenti savijanja u smjeru y u rešetki



## Sekundarna krovna konstrukcija

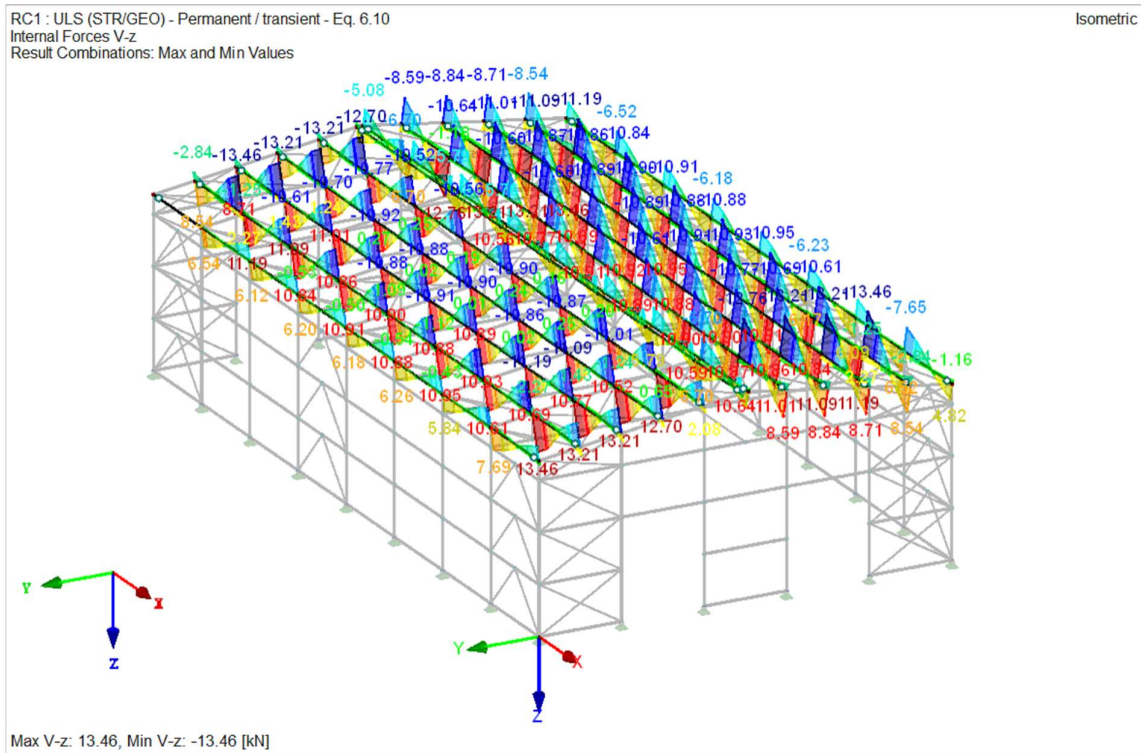


Slika 4.5.11.: Uzdužne sile u sekundarnoj krovnoj konstrukciji

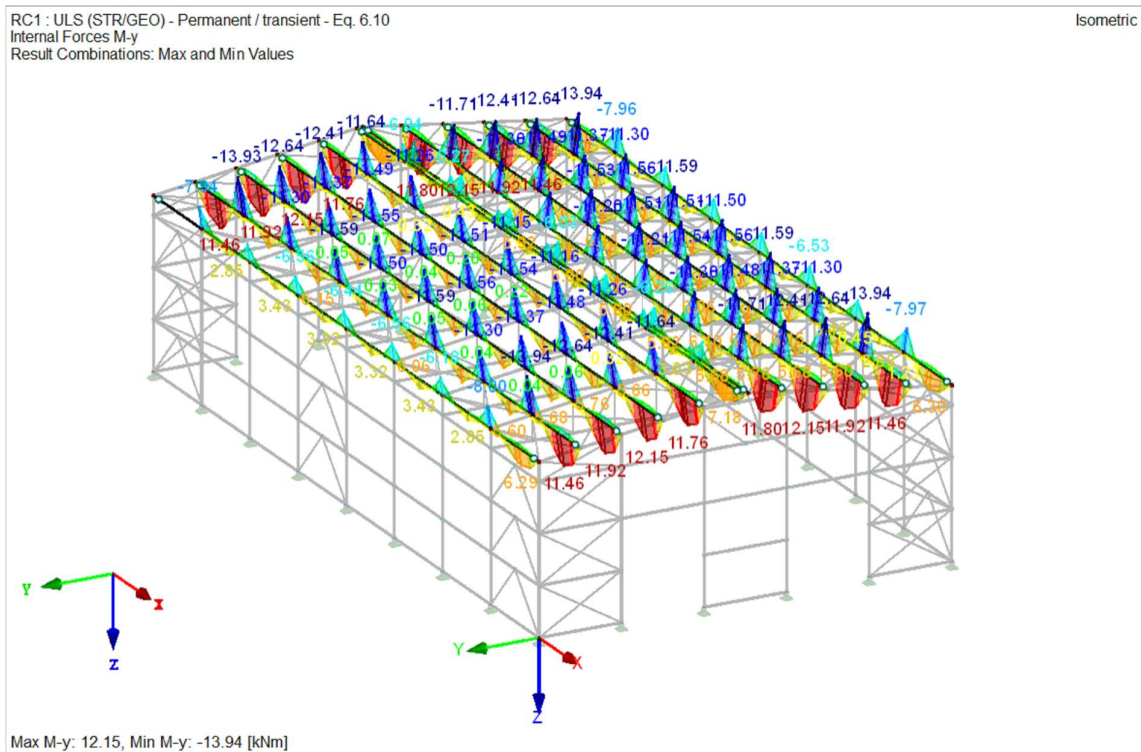


Slika 4.5.12.: Poprečne sile u smjeru y u sekundarnoj krovnoj konstrukciji

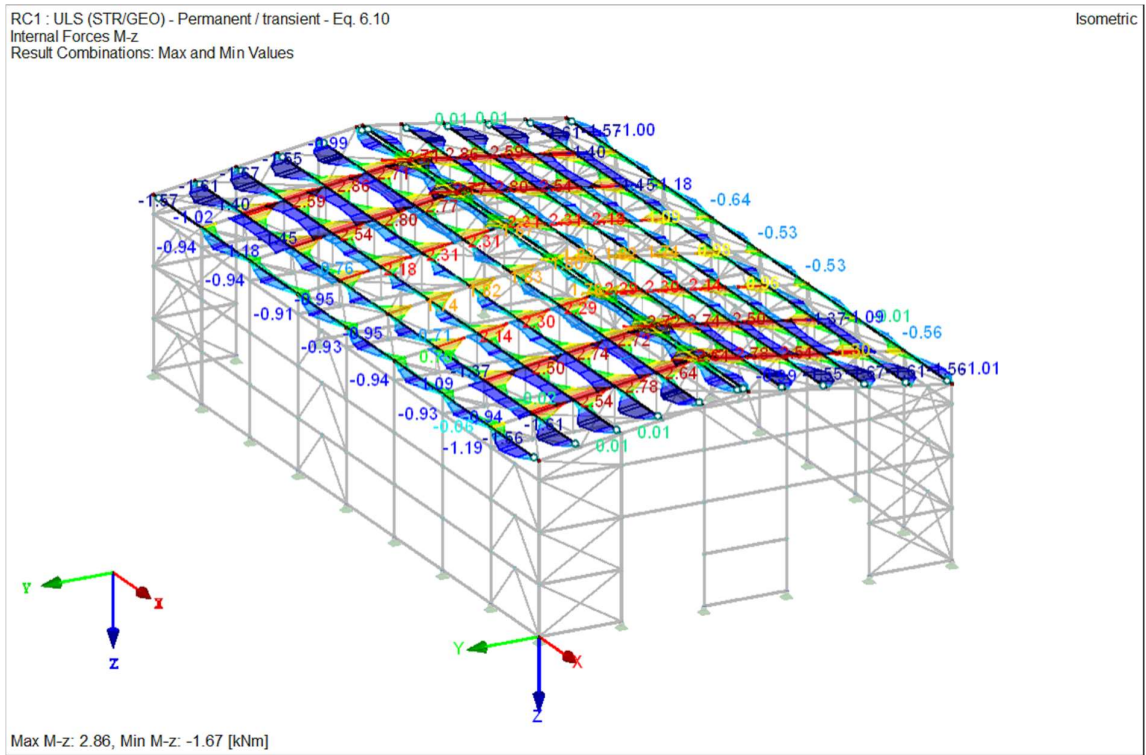




Slika 4.5.13.: Poprečne sile u smjeru z u sekundarnoj krovnoj konstrukciji

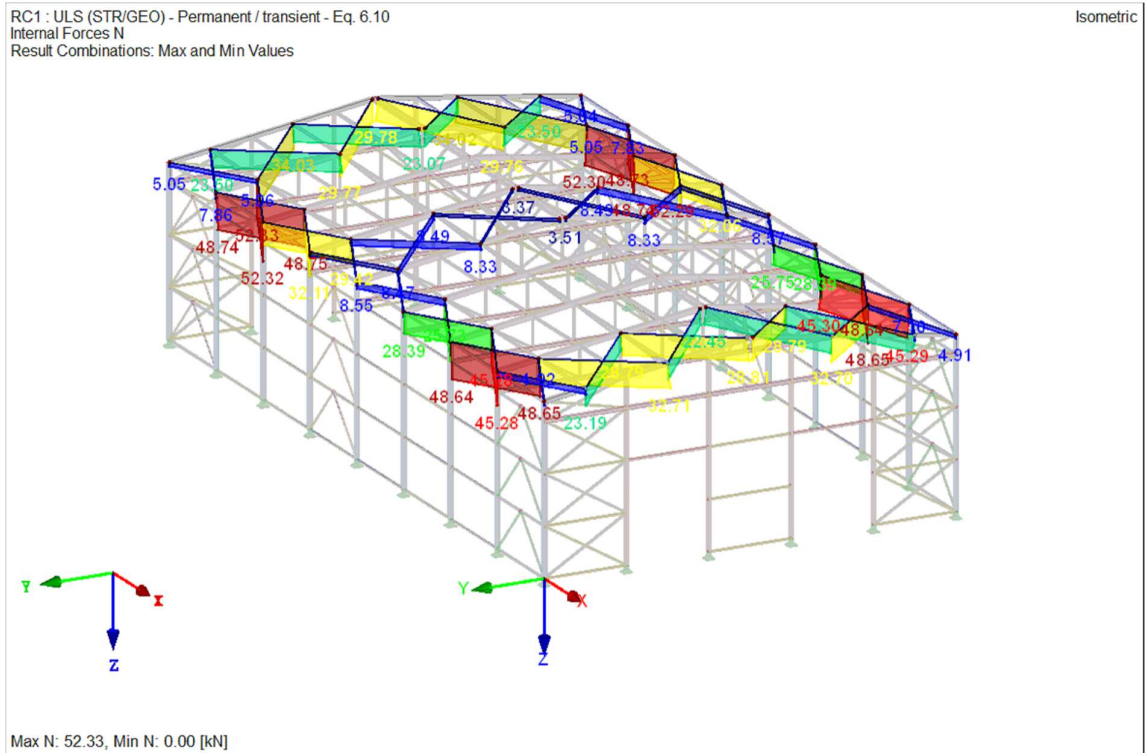


Slika 4.5.14.: Momenti savijanja u smjeru y u sekundarnoj krovnoj konstrukciji



*Slika 4.5.15.: Momenti savijanja u smjeru z u sekundarnoj krovnoj konstrukciji*

## Krovni spregovi

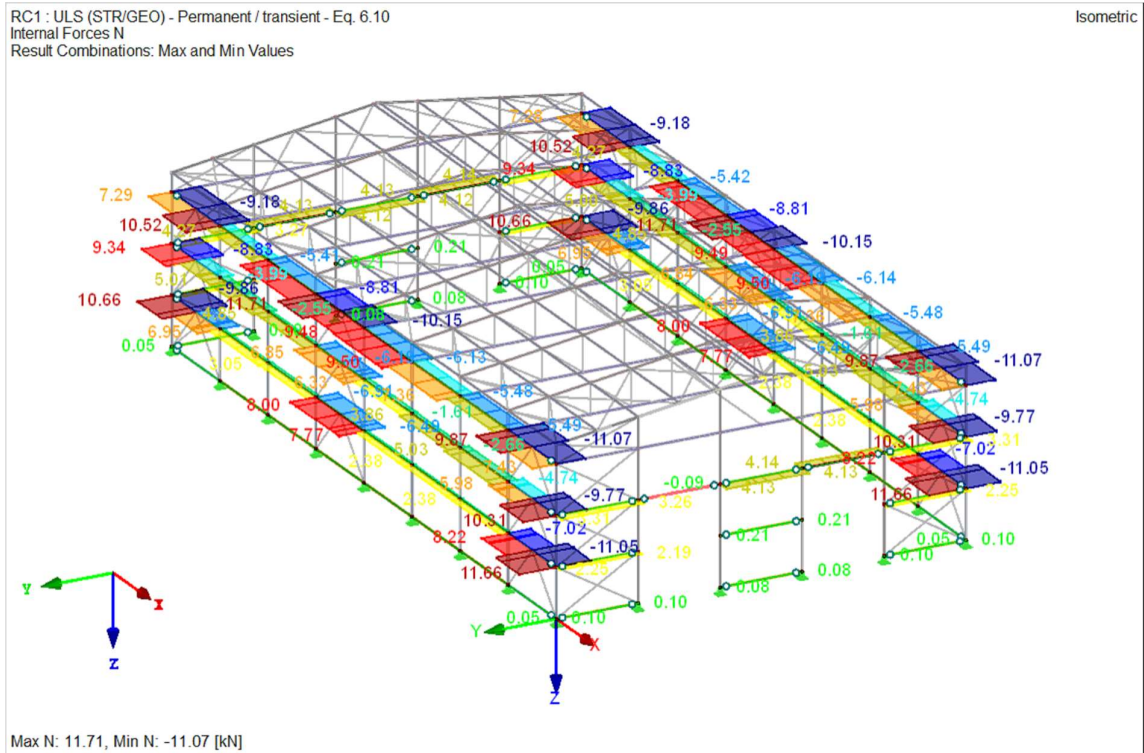


Slika 4.5.16.: Uzdužne sile u krovnim spregovima

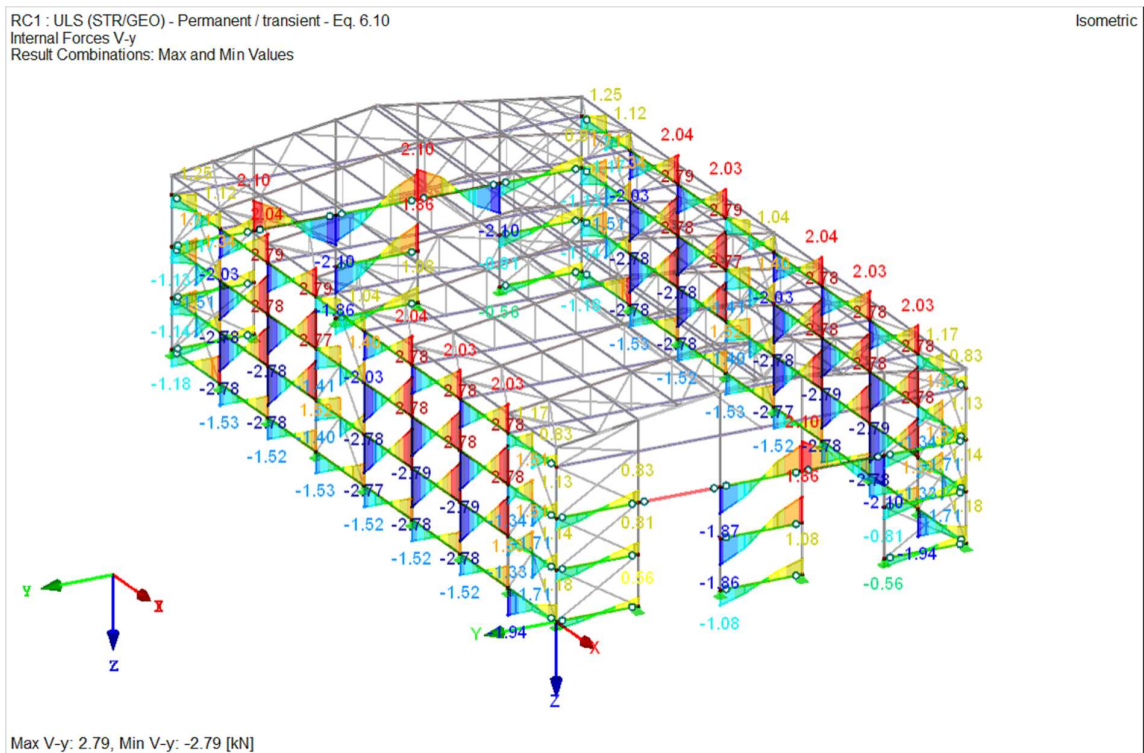
Kod krovne stabilizacije postoje samo uzdužne sile iz razloga što je ovaj element vlačni i izložen je vlačnim silama.

Element je modeliran kao vlačni, odnosno kao zatega.

## Fasadni nosači

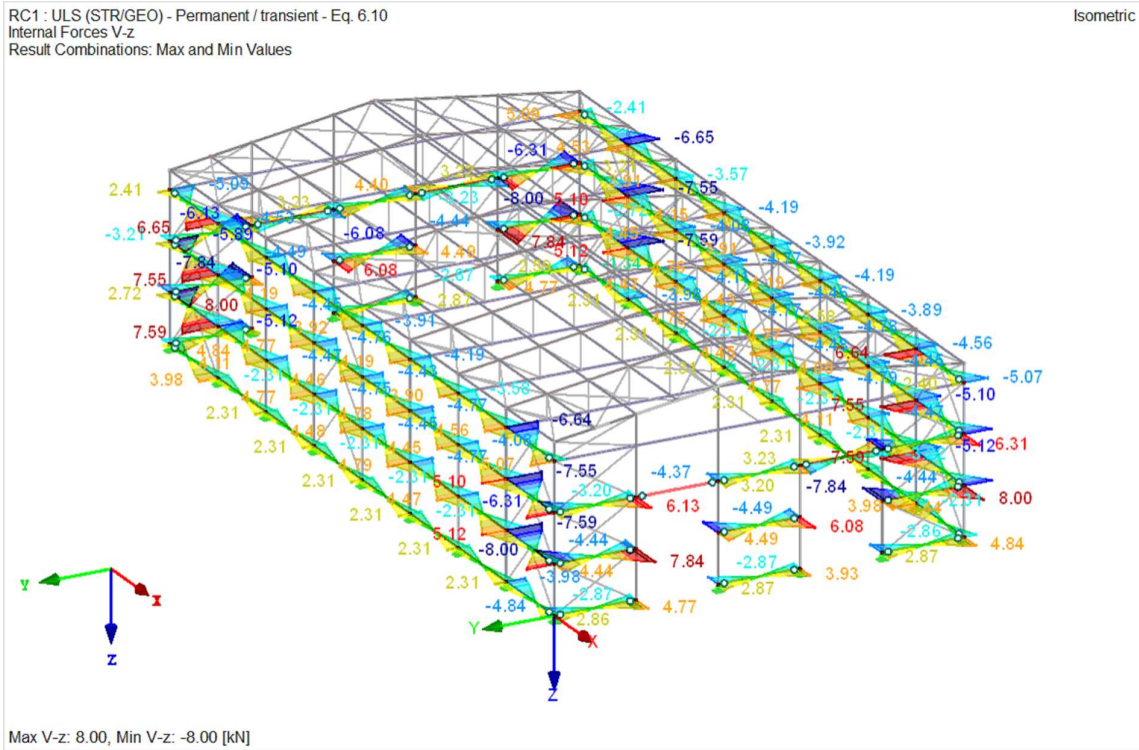


Slika 4.5.17.: Uzdužne sile u fasadnim nosačima

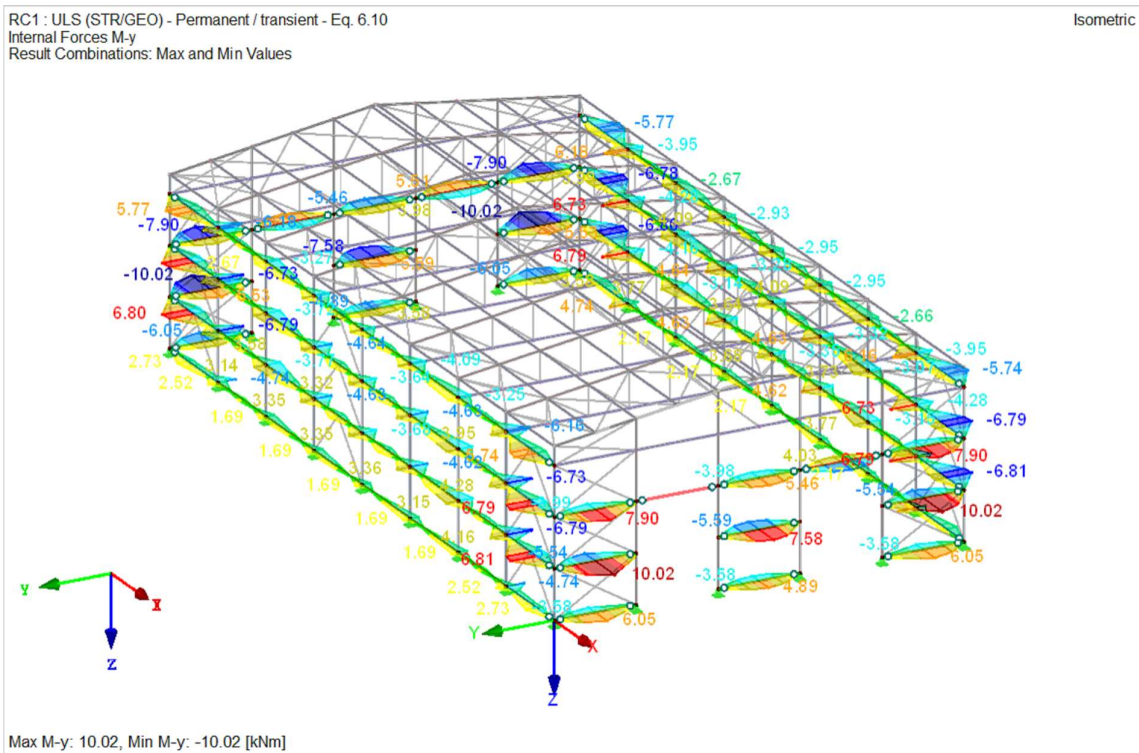


Slika 4.5.18.: Poprečne sile u y smjeru u fasadnim nosačima





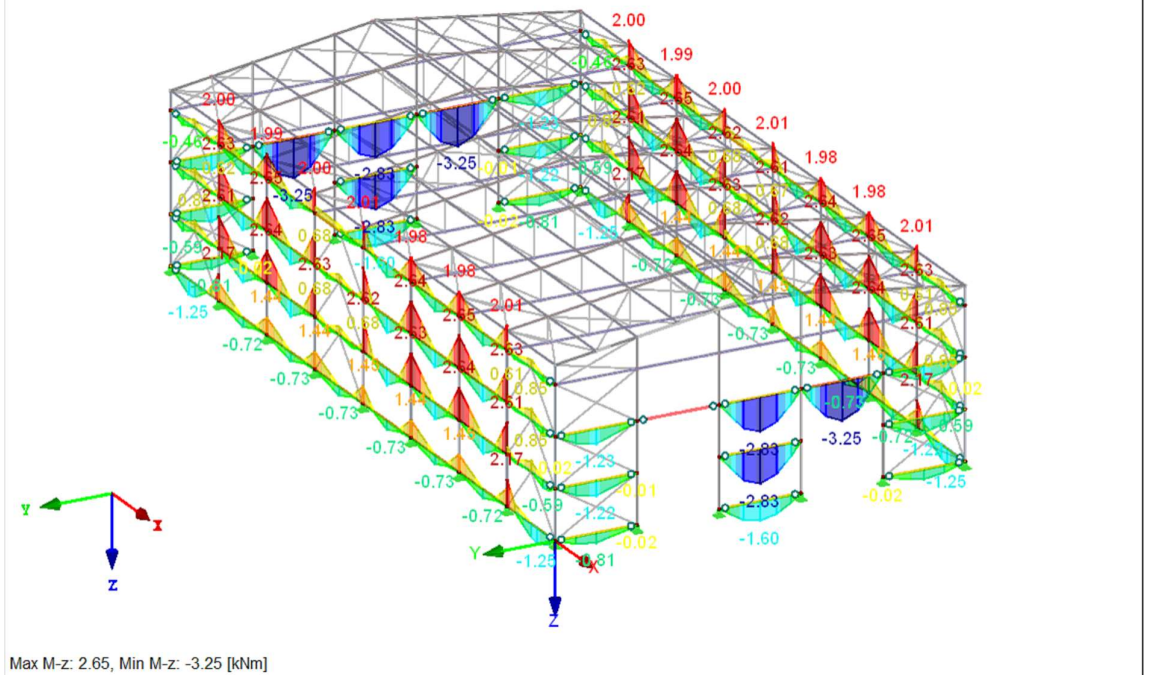
Slika 4.5.19.: Poprečne sile u z smjeru u fasadnim nosačima



Slika 4.5.20.: Momenti savijanja u y smjeru u fasadnim nosačima

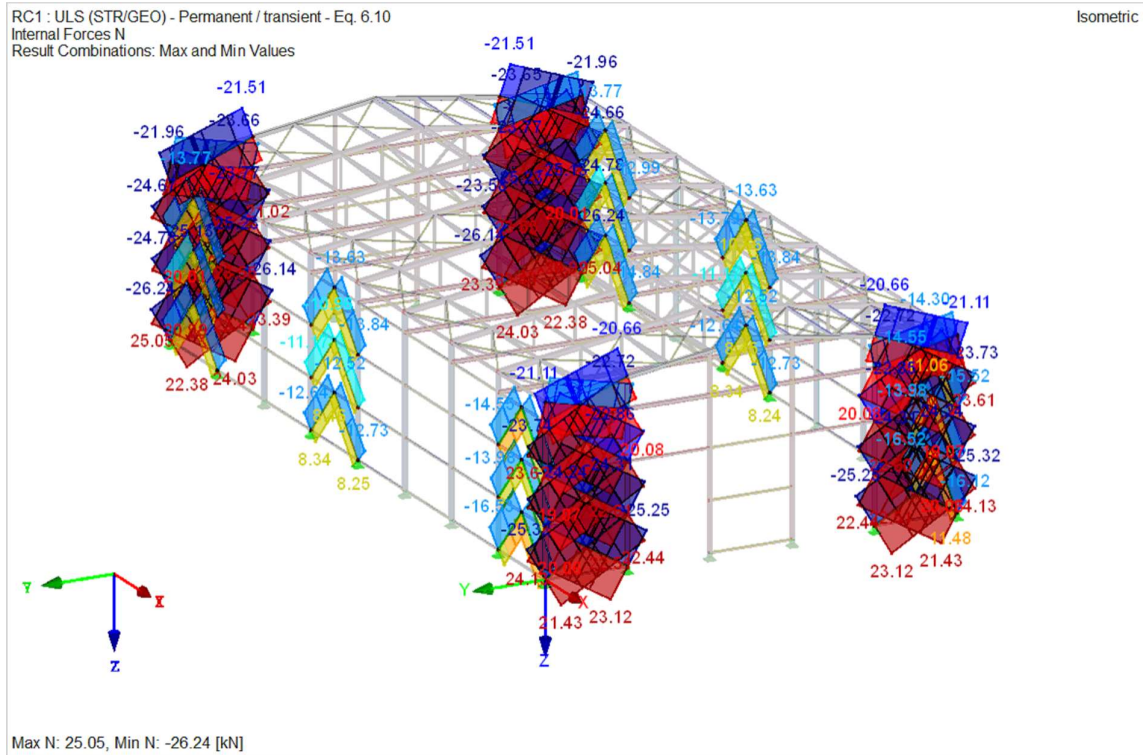
RC1 : ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10  
Internal Forces M-z  
Result Combinations: Max and Min Values

Isometric

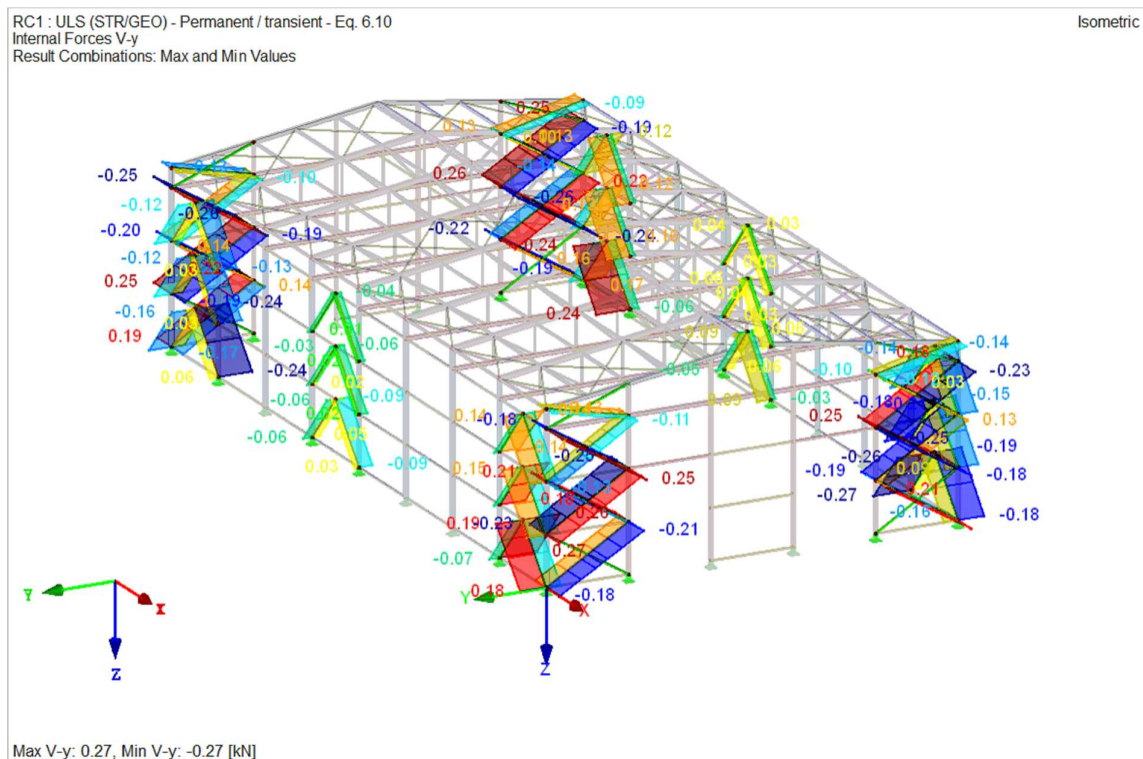


Slika 4.5.21.: Momenti savijanja u z smjeru u fasadnim nosačima

## Vertikalni spregovi



Slika 4.5.22.: Uzdužne sile u vertikalnim spregovima

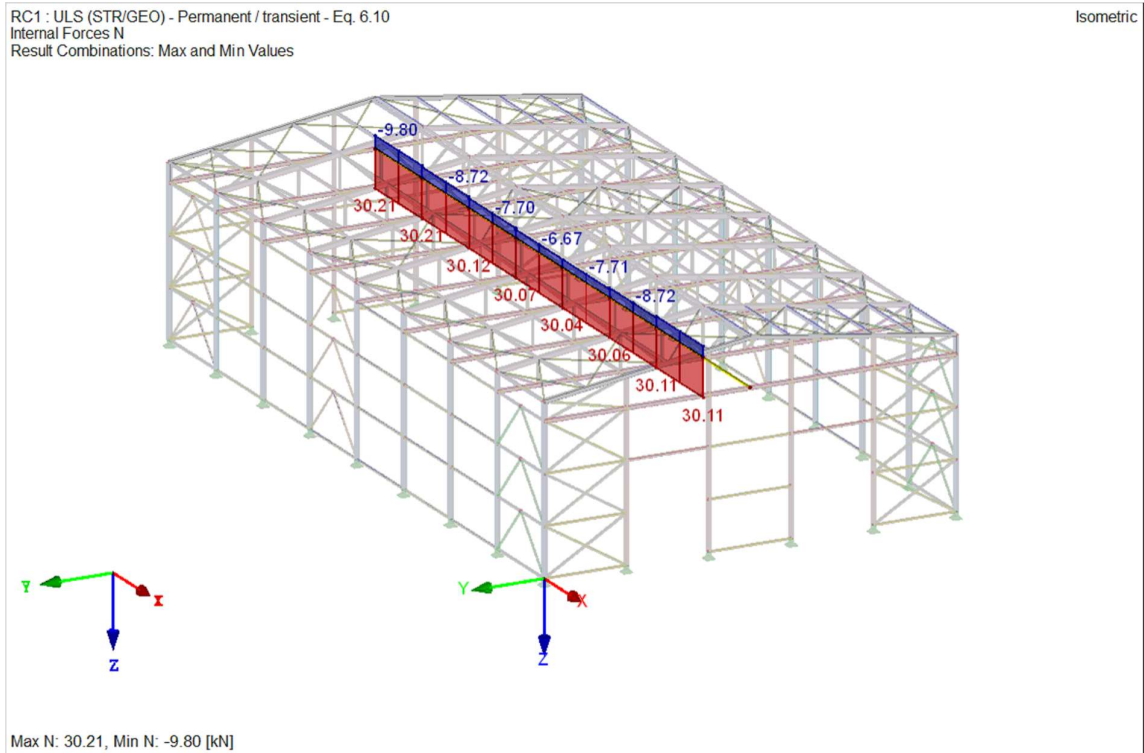


Slika 4.5.23.: Poprečne sile u y smjeru u vertikalnim spregovima

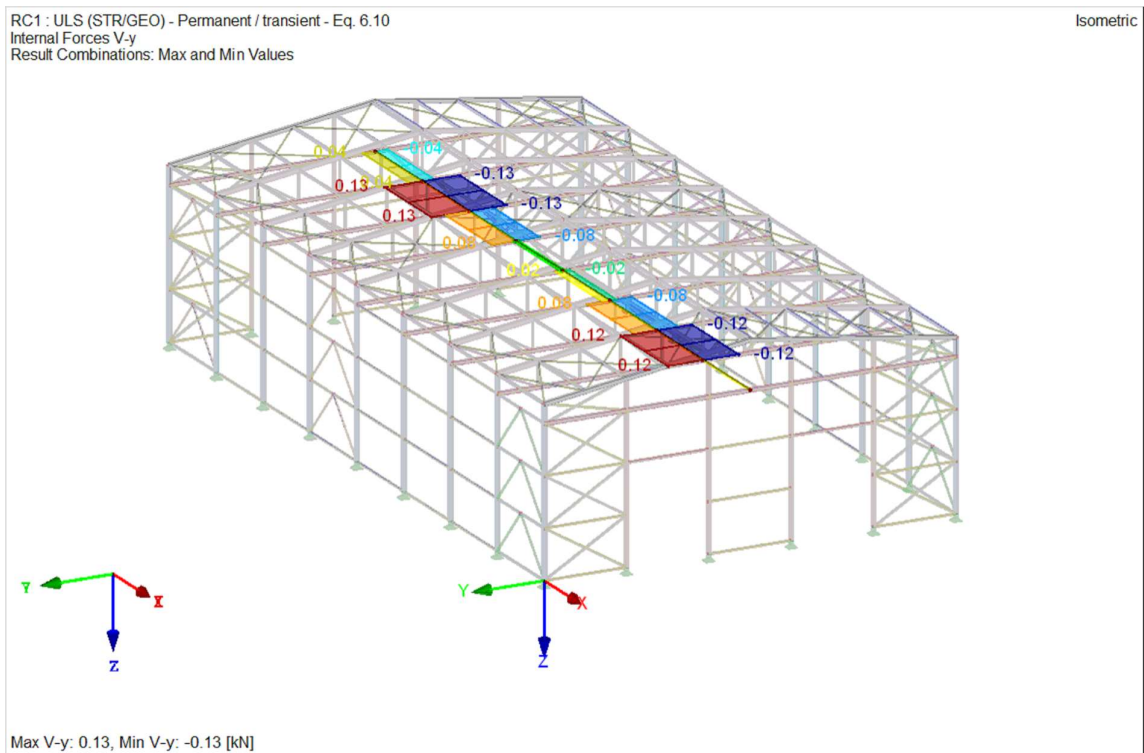




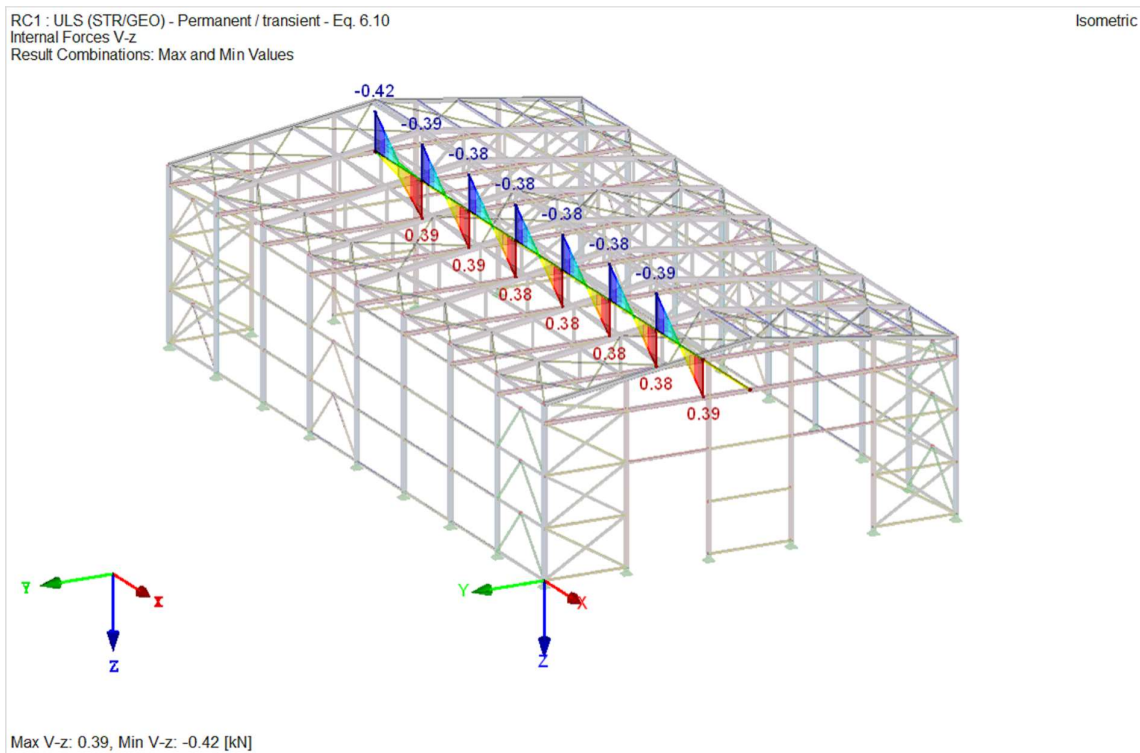
## Bočna pridržanja



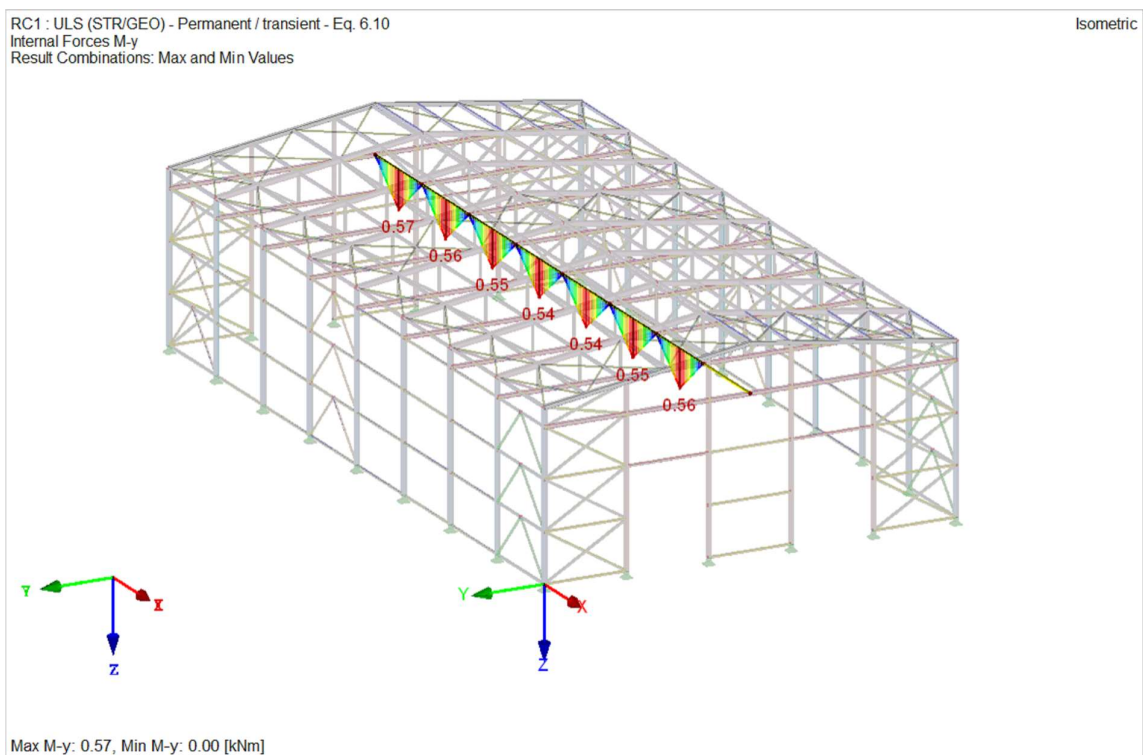
Slika 4.5.26.: Uzdužne sile u bočnim pridržanjima



Slika 4.5.27.: Poprečne sile u smjeru y u bočnim pridržanjima



*Slika 4.5.28.: Poprečne sile u smjeru z u bočnim pridržanjima*



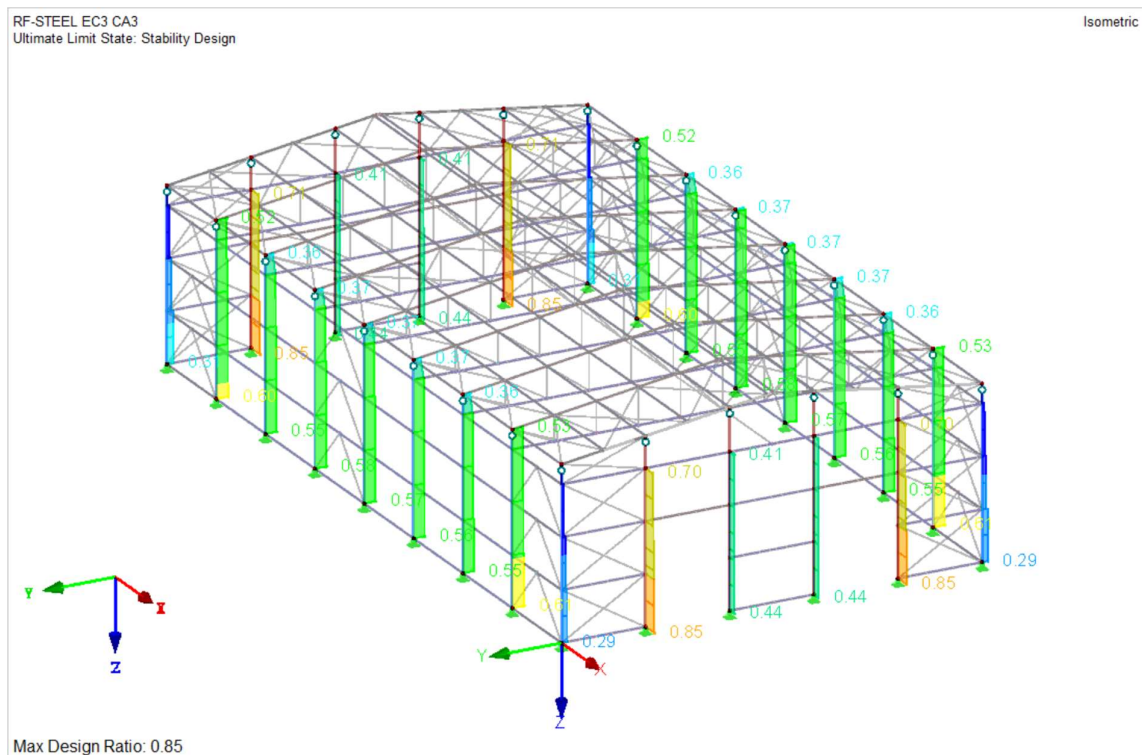
*Slika 4.5.29.: Momenti savijanja u smjeru y u bočnim pridržanjima*

Kod vertikalnih spregova i bočnih pridržanja ne postoje momenti savijanja u smjeru z.

## 4.6. Dimenzioniranje

Na sljedećim su prikazima zapisane najveće iskoristivosti poprečnih presjeka koji su raspoređeni u 7 dijelova. Dimenzioniranje poprečnih presjeka se provodi uz pomoć unutarnjih sila prema Eurokodu 3. [7] Svi su presjeci načinjeni od istog čelika S355.

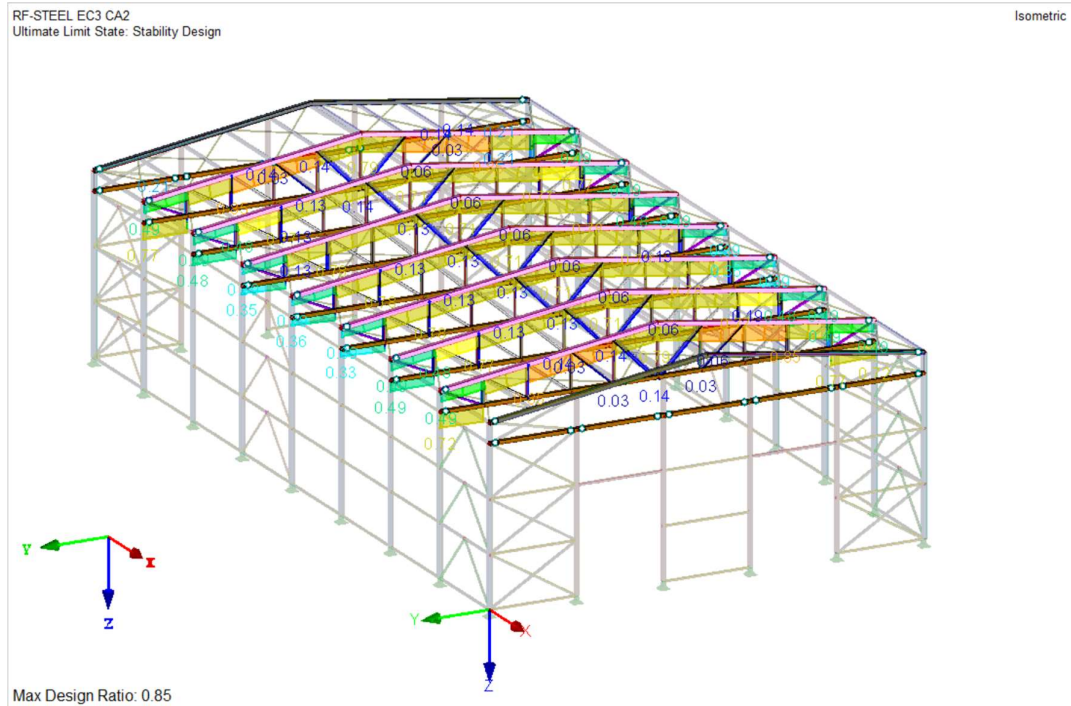
### Stupovi



Slika 4.6.1.: Dimenzioniranje stupova

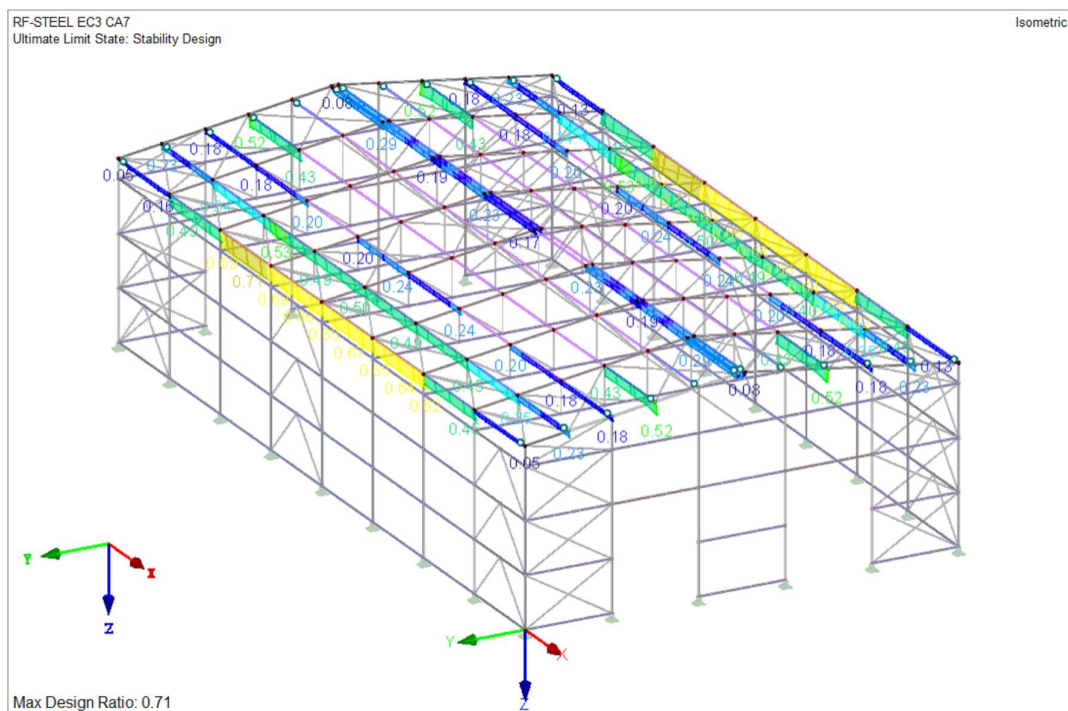


## Rešetka



Slika 4.6.2.: Dimenzioniranje rešetke

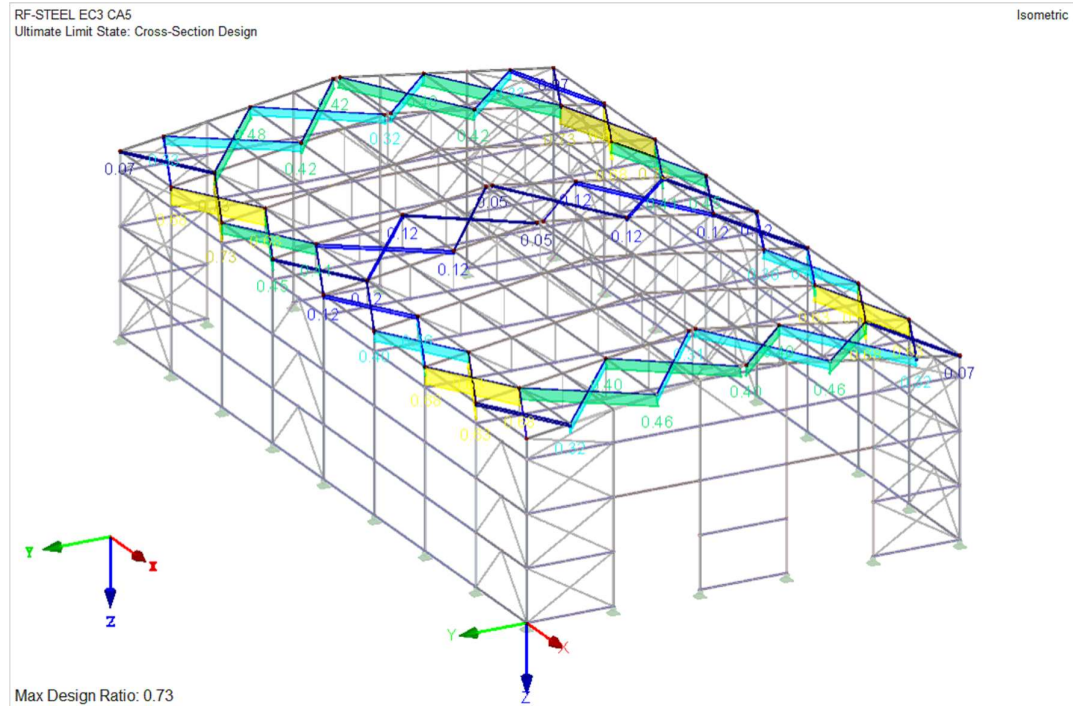
## Sekundarna krovna konstrukcija



Slika 4.6.3.: Dimenzioniranje sekundarne krovne konstrukcije

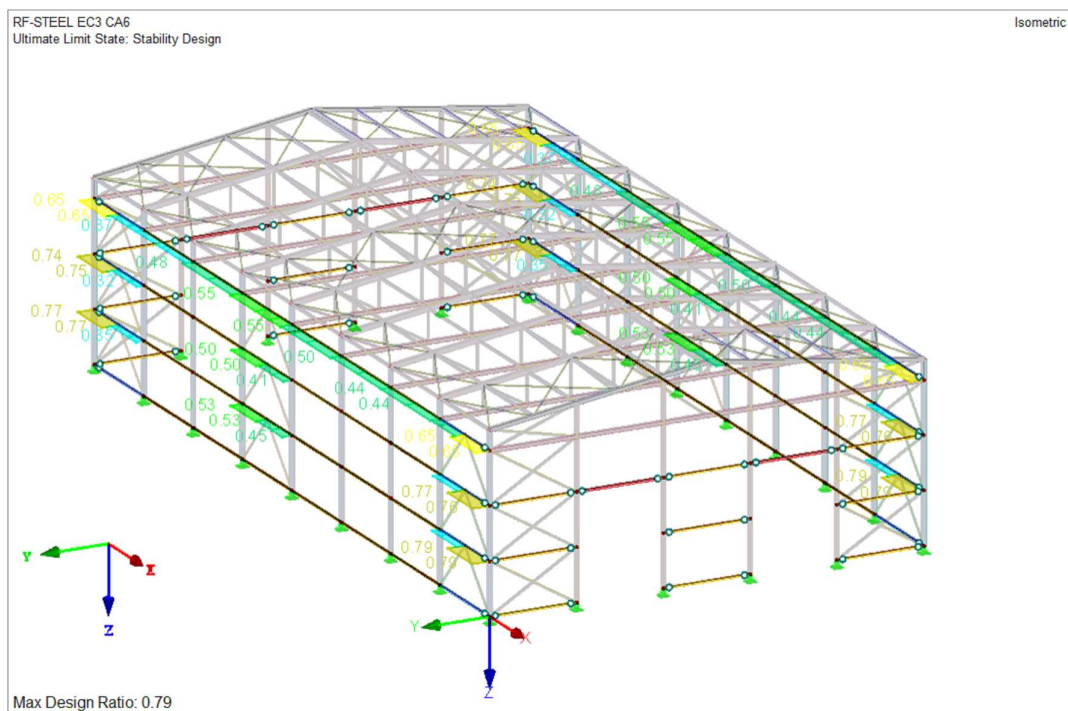


## Krovni spregovi



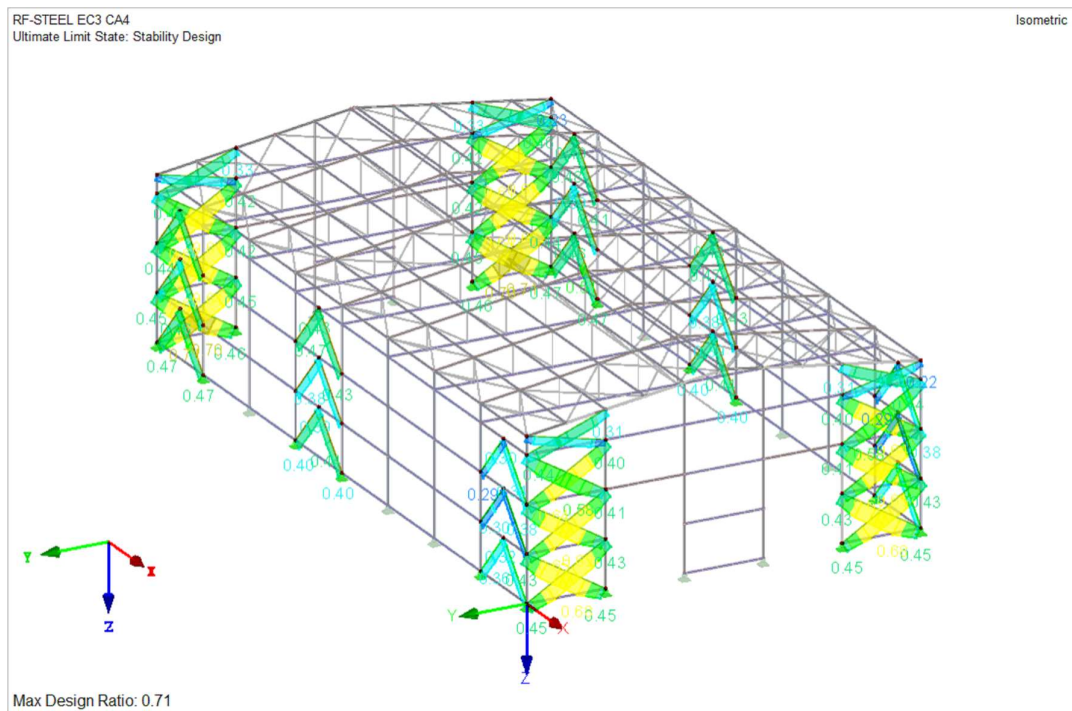
Slika 4.6.4.: Dimenzioniranje krovnih spregova

## Fasadni nosači



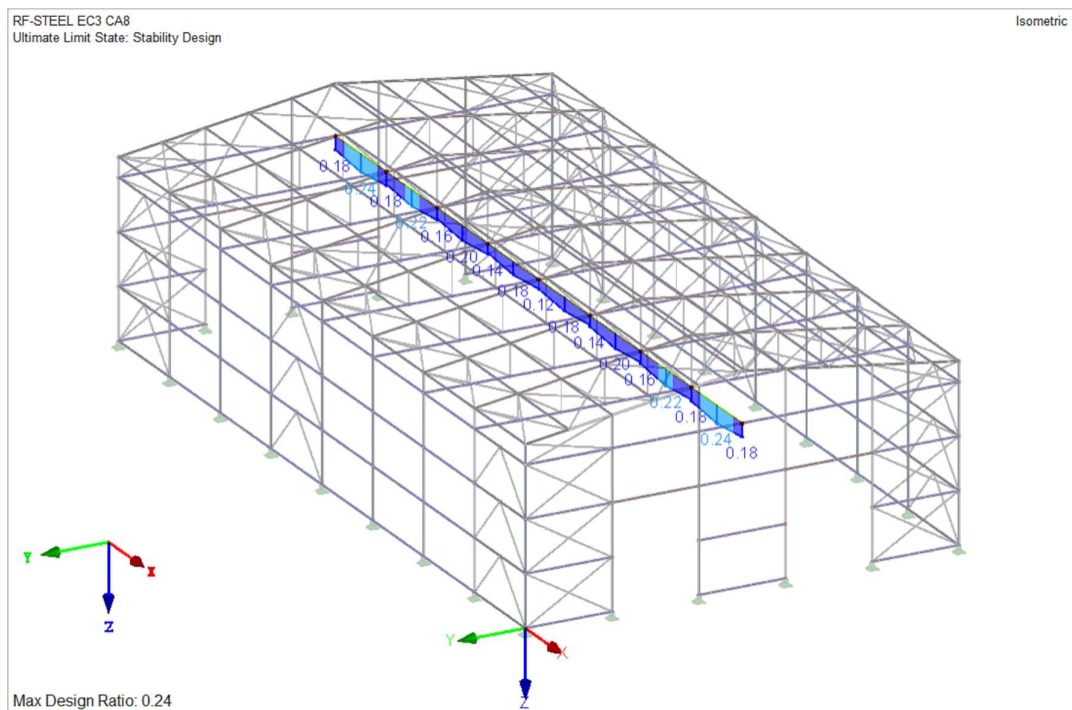
Slika 4.6.5.: Dimenzioniranje fasadnih nosača

## Vertikalni spregovi



Slika 4.6.6.: Dimenzioniranje vertikalnih spregovi

## Bočna pridržanja



Slika 4.6.7.: Dimenzioniranje bočnih pridržanja

## 4.7. Proračun spojeva

Sljedeći spojevi proračunati su uz pomoć računalnog programa IDEA StatiCA.

### 4.7.1. Sspoj stup - temelj

Stup – HEA 240

Vijci – M20 8.8

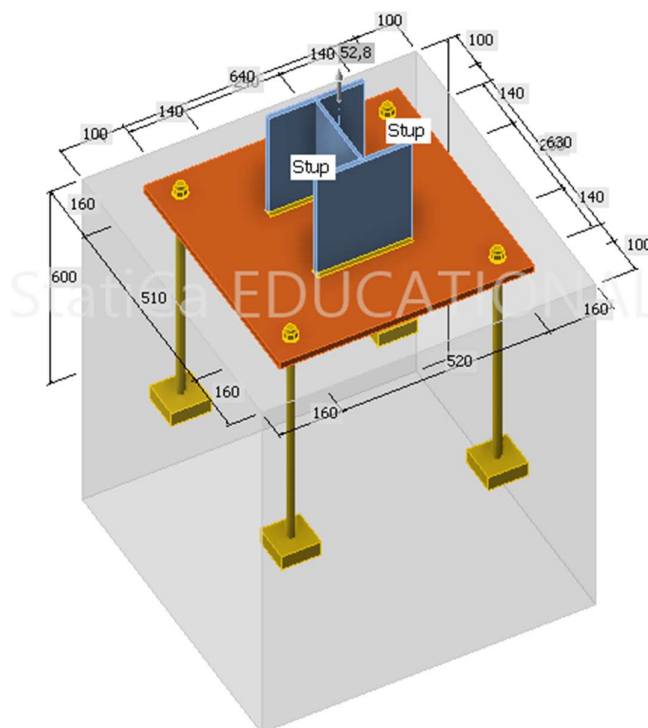
Betonski temelj: 840x830x1000

Sile:

N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
-187,4	22,5	-15,6	0,0	0,0	0,0
52,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

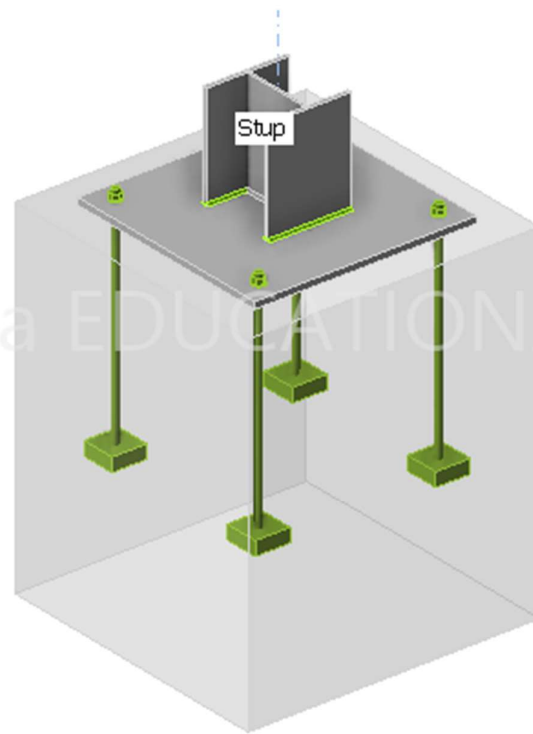
Sile u suprotnom smjeru:

X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
-22,5	15,6	-187,4	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	52,8	0,0	0,0	0,0

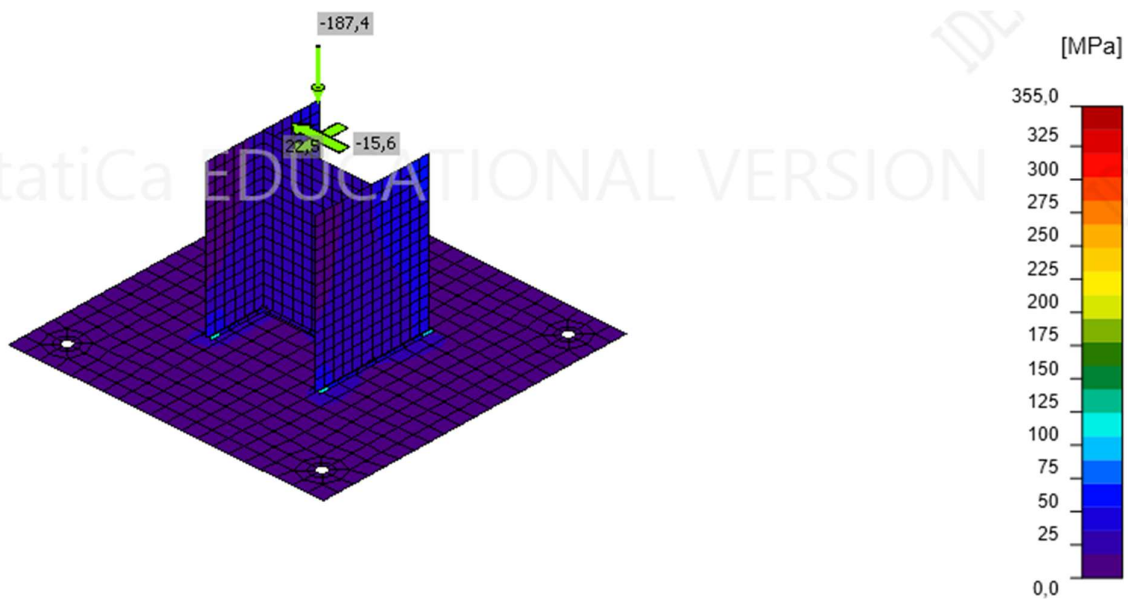


Slika 4.7.1.1.: Prikaz modela spoja stup - temelj

Analysis	✓	100,0%
Plates	✓	0,0 < 5,0%
Anchors	✓	72,9 < 100%
Welds	✓	61,8 < 100%
Concrete block	✓	7,9 < 100%
Buckling		Not calculated



Slika 4.7.1.2.: Prikaz rezultata izveštaja spoja stup - temelj

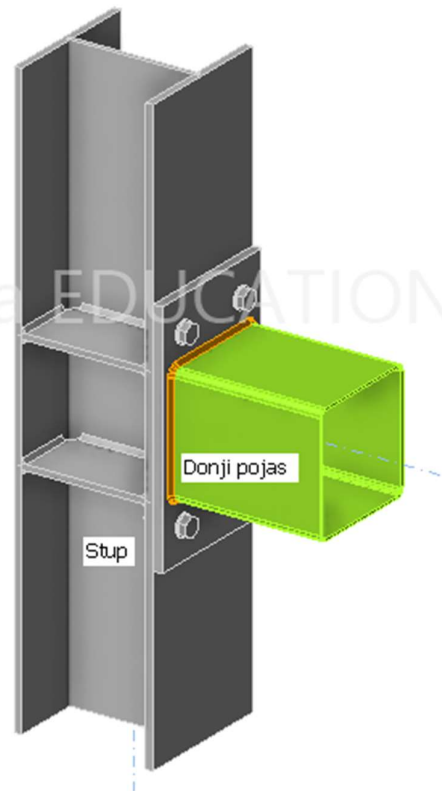


Slika 4.7.1.3.: Prikaz naprezanja spoja stup - temelj



Analysis	✓	100,0%
Plates	✓	0,0 < 5,0%
Loc. deformation	✓	0,0 < 3%
Bolts	✓	21,0 < 100%
Welds	✓	98,0 < 100%
Buckling		Not calculated

IDEA StatiCa EDUCATIONAL



Slika 4.7.2.2.: Prikaz rezultata izvještaja spoja stup - rešetka



Slika 4.7.2.3.: Prikaz naprezanja spoja stup - rešetka



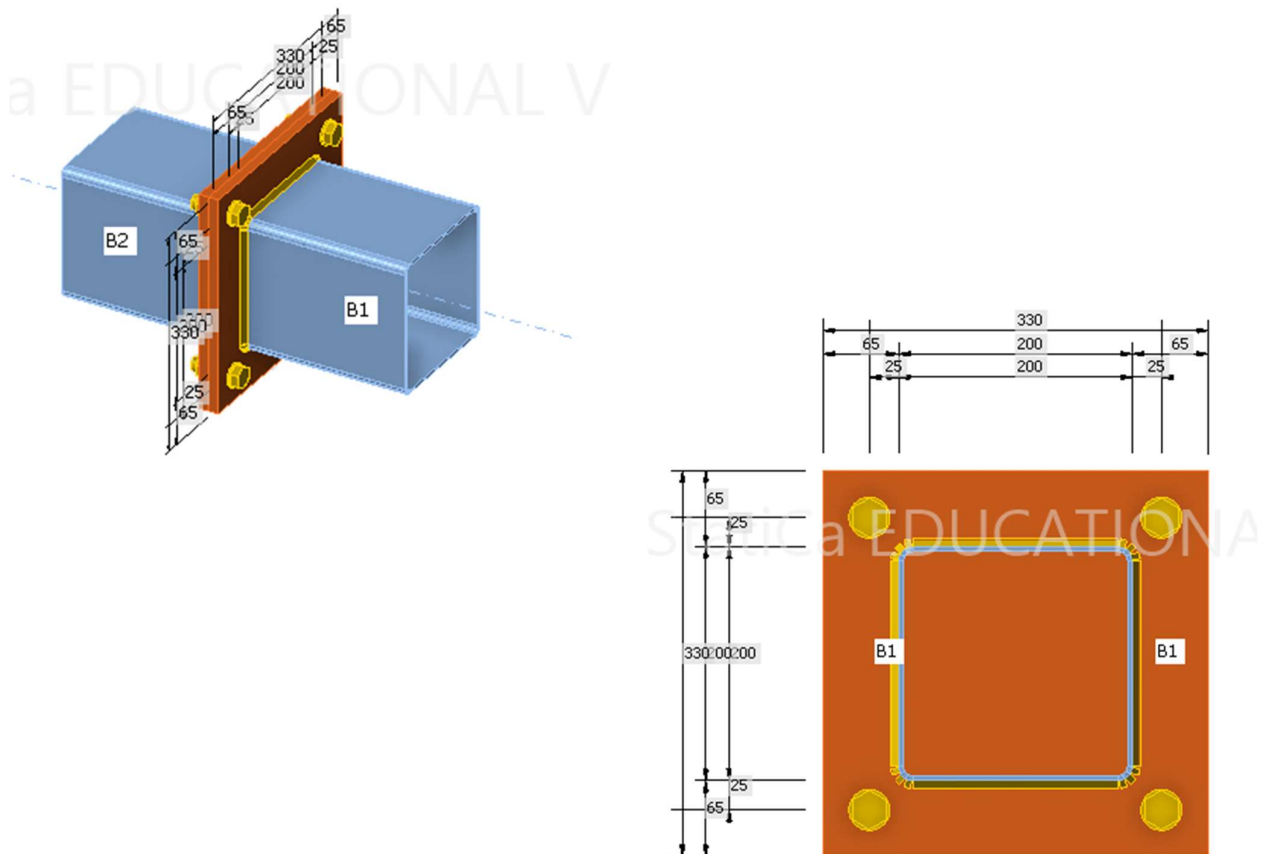
### 4.7.3. Vlačni nastavak rešetke

Donji pojas rešetke – RHS200x200

Vijci – M20 8.8

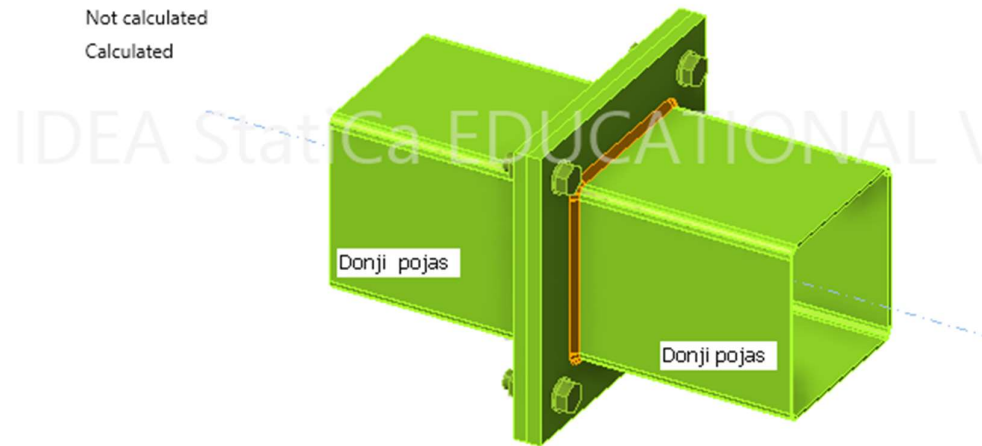
Sile:

N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
376,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

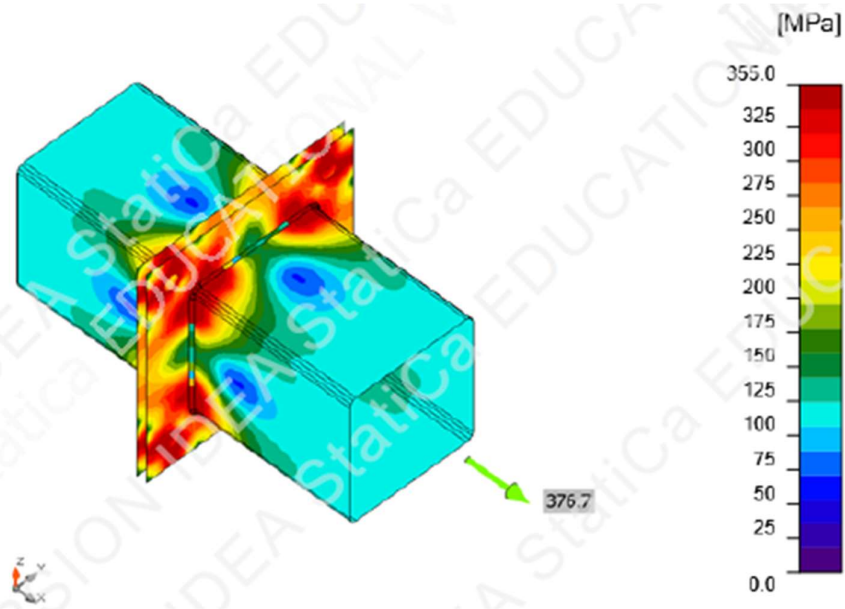


Slika 4.7.3.1.: Prikaz modela spoja vlačnog nastavka rešetke

Analysis	✓	100,0%
Plates	✓	2,7 < 5,0%
Loc. deformation	✓	0,1 < 3%
Bolts	✓	91,6 < 100%
Welds	✓	98,5 < 100%
Buckling		Not calculated
GMNA		Calculated



Slika 4.7.3.2.: Prikaz rezultata izvještaja spoja vlačnog nastavka rešetke



Slika 4.7.3.3.: Prikaz naprezanja spoja vlačnog nastavka rešetke



## 5. Zaključak

Cilj ovog rada je napraviti statički proračun za čeličnu konstrukciju hale i usporediti proračun u računalnom programu sa ručnim načinom.

U ovom radu opterećenja vjetrom na dvostrešni krov i zidove prikazana su na tri načina. Jedan od načina je bio ručnim proračunom pomoću formula iz Norme. Linearnom interpolacijom računali su se koeficijenti vanjskog tlaka i sa njima su dobivene vrijednosti opterećenja vjetrom. Te vrijednosti koeficijenata su u nekoj mjeri različite od koeficijenata iz programa, stoga i vrijednosti pritiska vjetra na vanjsku oblogu hale nisu u potpunosti usklađene. Drugi način je prikazivanje rezultata programom Opterećenja i posljednji generiranjem opterećenja vjetrom u računalnom programu Dlubal.

Ono što se može uočiti je da rezultati nisu isti, ali su slični. Razlikuju se u „nijansama“, odnosno dobiveni rezultati razlikuju se minimalno. Možemo reći da su ove greške primjerene i ne treba ih smatrati netočnim. Ova odstupanja javljaju se zbog geometrijske nesavršenosti. Hala je modelirana drugačije u računalnim programima i ručnim načinom.

Prikazano generiranje opterećenja snijegom i vjetrom je u velikoj mjeri jednostavnije i brže u računalnom programu. Neophodno je samo upisati potrebne vrijednosti u označena polja i rezultati se prikazuju automatski. Još jedna prednost Dlubala jest da je generiranje opterećenja popraćeno grafičkim prikazom na kojem se mijenjaju vrijednosti sukladno unešenim promjenama. Ovime je lakše pratiti unosimo li točne vrijednosti i pozicije opterećenja i samim time je ovaj postupak dobivanja rezultata točniji. Proračun u računalnom programu je isto tako jedan od načina provjeravanja ručno dobivenih rezultata.

Na početku sastavljanja modela hale bilo je potrebno intuitivno odrediti profile svake pozicije te ih naknadno mijenjati sukladno modulu za čelične konstrukcije koja je temeljena na Eurokodu 3. Samo dimenzioniranje u računalnom programu je praktičnije zbog mijenjanja poprečnih presjeka koje je potrebno korigirati da bismo zadovoljili konstrukcijsku stabilnost. Ovaj postupak se na nekim dijelovima hale ponavlja i više puta, a ručni način mijenjanja profila iziskuje više utrošenog vremena. U programu se još mogu provjeriti i deformacije pojedinih elemenata konstrukcije koje su poslužile za provjeru progiba.

Sam postupak dobivanja proračunatih vrijednosti statičkog proračuna u programima je puno brži, jednostavniji i točniji u usporedbi s tradicionalnim, odnosno ručnim načinom.

U svakom slučaju, računalni programi nam znatno olakšavaju i ubrzavaju sam statički proračun, no oni su samo alati i nužno je naše znanje za uporabu takvih računalnih programa.

## 6. Literatura

- [1] Novosel, M., Krumes, D., Kladarić, I.: Željezni materijali: Konstrukcijski čelici, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2013.
- [2] Pavlović, P.: Materijal čelik, SKTH/Kemija u industriji, Zagreb, 1990.
- [3] HRN EN 1991-1-1:2012: Eurokod 1:Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4
- [4] HRN EN 1991-1-1:2012: Eurokod 1:Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja - Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada
- [5] HRN EN 1991-1-3:2012: Eurokod 1:Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja - Opterećenja snijegom
- [6] EN 10025-2:2004-11
- [7] HRN EN 1993-1-6:2014: Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-6

## Popis slika

1.4.1.	Tipovi stabilizacije .....	3
3.2.1.	Karta sniježnih područja .....	5
3.2.2.	Shema djelovanja snijega .....	7
3.2.11.	Generiranje opterećenja snijegom (snimka zaslona) .....	8
3.3.1.	Karta osnovne brzine vjetra .....	9
3.3.2.	Koeficijenti izloženosti za ravne terene u ovisnosti o visini z .....	11
3.3.1.1.	Podjela zidova po zonama za transverzalni smjer vjetra .....	12
3.3.1.2.	Shema zona na objektu izloženih djelovanju vjetra .....	13
3.3.2.1.	Poprečno djelovanje vjetra na zidove (snimka zaslona) .....	15
3.3.2.2.	Podjela dvostrešnog krova po zonama za transverzalni smjer vjetra .....	16
3.3.3.1.	Poprečno djelovanje vjetra na dvostrešni krov (snimka zaslona) .....	17
3.3.3.2.	Shema djelovanja vjetra na halu u poprečnom smjeru .....	18
3.3.4.1.	Podjela zidova po zonama za longitudinalni smjer vjetra .....	19
3.3.5.1.	Uzdužno djelovanje vjetra na zidove (snimka zaslona) .....	20
3.3.6.1.	Nanošenje opterećenja vjetrom na zid (snimka zaslona) .....	21
3.3.6.2.	Prikaz dobivenih vrijednosti opterećenja vjetrom na zid (snimka zaslona) .....	22
3.3.6.3.	Shema djelovanja vjetra na halu u uzdužnom smjeru .....	24
3.3.7.1.	Nanošenje opterećenja vjetrom na dvostrešni krov (snimka zaslona) .....	25
3.3.7.2.	Prikaz dobivenih vrijednosti opterećenja vjetrom na dvostrešni krov (snimka zaslona) .....	26
3.3.8.1.	Uzdužno djelovanje vjetra na dvostrešni krov (snimka zaslona) .....	27
4.2.1.	Izometrijski prikaz hale iz jednog pogleda .....	30
4.2.2.	Izometrijski prikaz hale iz drugog pogleda .....	30
4.2.3.	Plan pozicije stupova .....	31
4.2.4.	Plan pozicije gornjeg i donjeg pojasa rešetke .....	31
4.2.5.	Plan pozicije ispune .....	32
4.2.6.	Plan pozicije sekundarne krovne konstrukcije .....	32
4.2.7.	Plan pozicije krovnih spregova .....	33
4.2.8.	Plan pozicije fasadnih nosača .....	33
4.2.9.	Plan pozicije vertikalnih spregova .....	34
4.2.10.	Plan pozicije bočnih pridržanja .....	34
4.3.1.	Stalno opterećenje .....	34
4.3.2.	Opterećenje snijegom .....	34
4.3.3.	Opterećenje vjetrom na dvostrešni krov u smjeru x .....	35

4.3.4.	Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru x .....	35
4.3.5	Opterećenje vjetrom na dvostrešni krov u smjeru -x .....	36
4.3.6.	Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru -x .....	36
4.3.7.	Opterećenje vjetrom na dvostrešni krov u smjeru y .....	37
4.3.8.	Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru y .....	37
4.3.9.	Opterećenje vjetrom na dvostrešni krov u smjeru -y .....	38
4.3.10.	Opterećenje vjetrom na zidove u smjeru -y .....	38
4.4.1.	Horizontalni pomak stupa .....	39
4.4.2.	Deformacije rešetke .....	40
4.5.1.	Uzdužne sile u stupovima .....	41
4.5.2.	Poprečne sile u smjeru y u stupovima .....	41
4.5.3.	Poprečne sile u smjeru z u stupovima .....	42
4.5.4.	Momenti savijanja u smjeru y u stupovima .....	42
4.5.5.	Momenti savijanja u smjeru z u stupovima .....	43
4.5.6.	Uzdužne sile u rešetki .....	44
4.5.7.	Poprečne sile u smjeru y u rešetki .....	44
4.5.8.	Poprečne sile u smjeru z u rešetki .....	45
4.5.9.	Momenti savijanja u smjeru y u rešetki .....	45
4.5.10.	Momenti savijanja u smjeru z u rešetki .....	46
4.5.11.	Uzdužne sile u sekundarnoj krovnoj konstrukciji .....	47
4.5.12.	Poprečne sile u smjeru y u sekundarnoj krovnoj konstrukciji .....	47
4.5.13.	Poprečne sile u smjeru z u sekundarnoj krovnoj konstrukciji .....	48
4.5.14.	Momenti savijanja u smjeru y u sekundarnoj krovnoj konstrukciji .....	48
4.5.15.	Momenti savijanja u smjeru z u sekundarnoj krovnoj konstrukciji .....	49
4.5.16.	Uzdužne sile u krovnim spregovima .....	50
4.5.17	Uzdužne sile u fasadnim nosačima .....	51
4.5.18.	Poprečne sile u smjeru y u fasadnim nosačima .....	51
4.5.19.	Poprečne sile u smjeru z u fasadnim nosačima .....	52
4.5.20.	Momenti savijanja u smjeru y u fasadnim nosačima .....	52
4.5.21.	Momenti savijanja u smjeru z u fasadnim nosačima .....	53
4.5.22.	Uzdužne sile u vertikalnim spregovima .....	54
4.5.23.	Poprečne sile u smjeru y u vertikalnim spregovima .....	54
4.5.24.	Poprečne sile u smjeru z u vertikalnim spregovima .....	55
4.5.25.	Momenti savijanja u smjeru y u vertikalnim spregovima .....	55

4.5.26.	Uzdužne sile u bočnim pridržanjima .....	56
4.5.27.	Poprečne sile u smjeru y u bočnim pridržanjima .....	56
4.5.28.	Poprečne sile u smjeru z u bočnim pridržanjima .....	57
4.5.29.	Momenti savijanja u smjeru y u bočnim pridržanjima .....	57
4.6.1.	Dimenzioniranje stupova .....	58
4.6.2.	Dimenzioniranje rešetke .....	59
4.6.3.	Dimenzioniranje sekundarnih krovnih nosača .....	59
4.6.4.	Dimenzioniranje krovnih spregova .....	60
4.6.5.	Dimenzioniranje fasadnih nosača .....	60
4.6.6.	Dimenzioniranje vertikalnih spregova .....	61
4.6.7.	Dimenzioniranje bočnih pridržanja .....	61
4.7.1.1.	Prikaz modela spoja stup - temelj .....	62
4.7.1.2.	Prikaz rezultata izvještaja spoja stup - temelj .....	63
4.7.1.3.	Prikaz naprezanja spoja stup - temelj .....	63
4.7.2.1.	Prikaz modela spoja stup - rešetka .....	64
4.7.2.2.	Prikaz rezultata izvještaja spoja stup - rešetka .....	65
4.7.2.3.	Prikaz naprezanja spoja stup - rešetka .....	65
4.7.3.1.	Prikaz modela spoja stup - rešetka .....	66
4.7.3.2.	Prikaz rezultata izvještaja spoja stup - rešetka .....	67
4.7.3.3.	Prikaz naprezanja spoja stup - rešetka .....	67

## Popis tablica

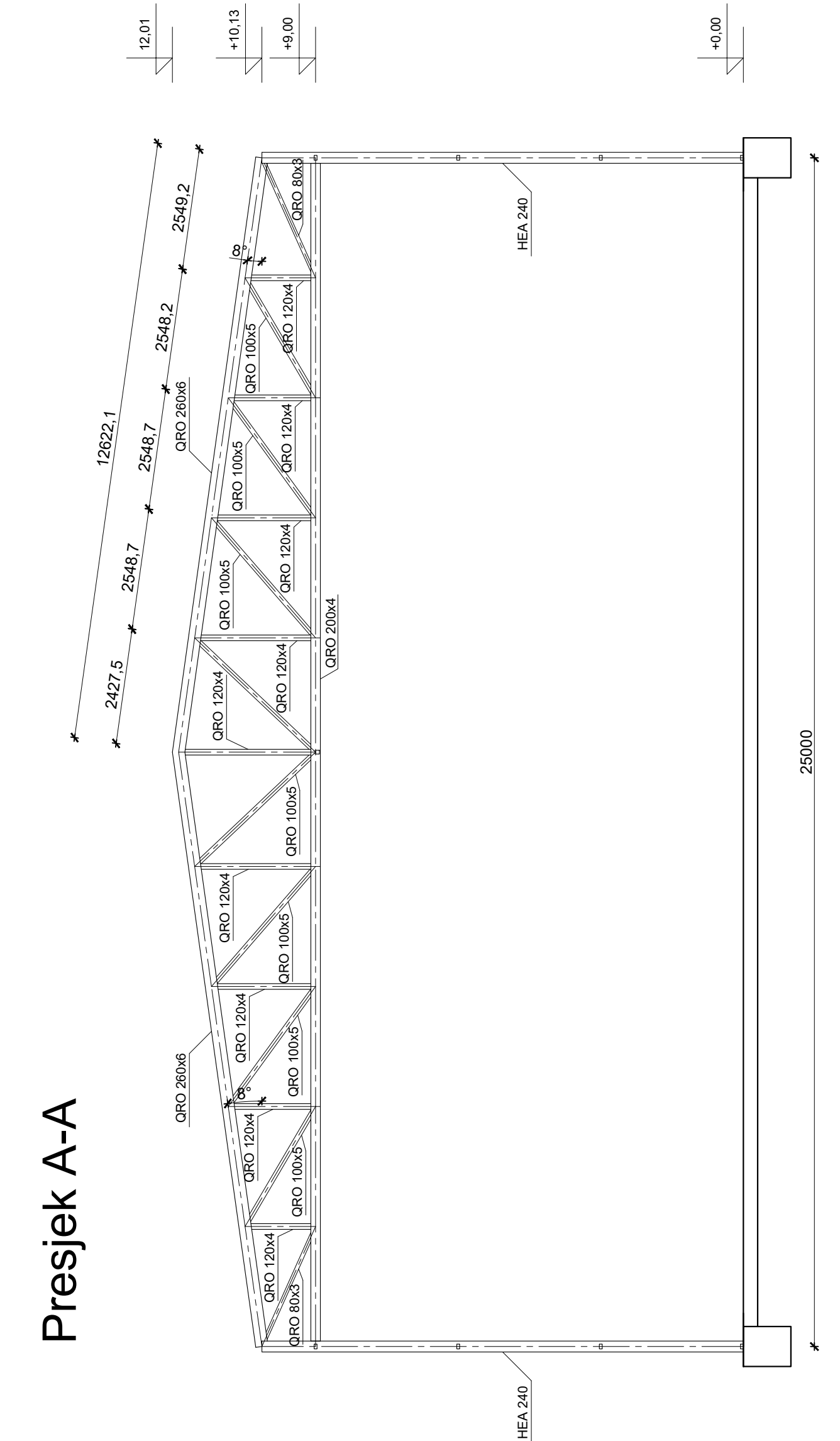
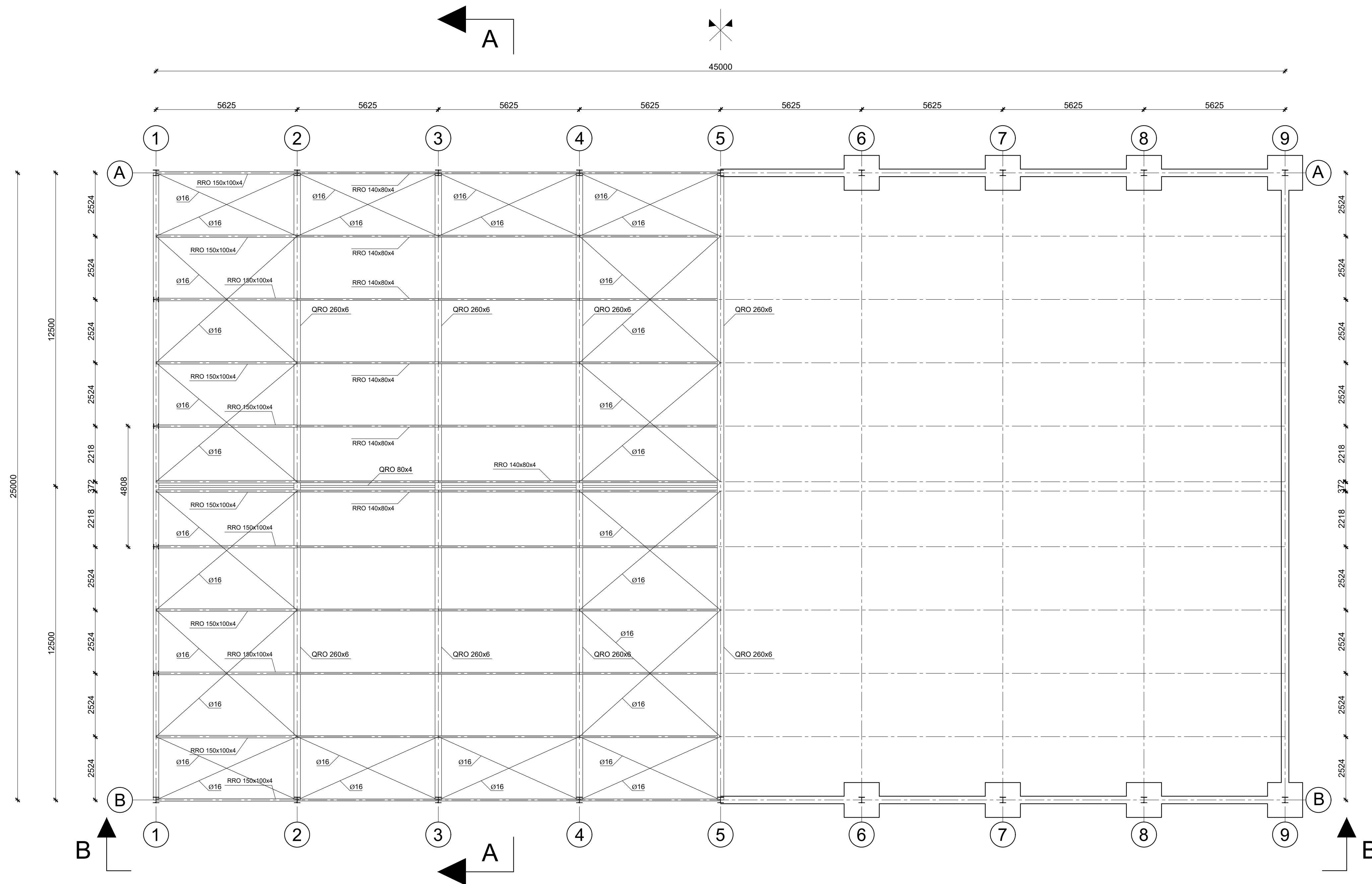
3.2.1.	Opterećenje snijegom za sniježna područja i pripadajuće nadmorske visine .....	6
3.2.2.	Koeficijenti oblika opterećenja snijegom .....	7
3.3.1	Kategorije terena i pripadajuće vrijednosti $z_0$ i $z_{min}$ .....	10
3.3.1.1.	Koeficijenti vanjskog tlaka za vertikalne zidove .....	14
3.3.1.2.	Pritisak vjetra na vanjske zidove – transverzalni smjer .....	14
3.3.2.1.	Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove, $\varphi=0$ .....	16
3.3.2.2.	Pritisak vjetra na dvostrešni krov – transverzalni smjer .....	17
3.3.4.1.	Pritisak vjetra na zidove – longitudinalni smjer .....	20
3.3.4.2.	Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove, $\varphi=90$ .....	23
3.3.4.3.	Pritisak vjetra na dvostrešni krov – longitudinalni smjer .....	23
4.1.1.	Karakteristike čelika S355 .....	28

## **Prilozi**

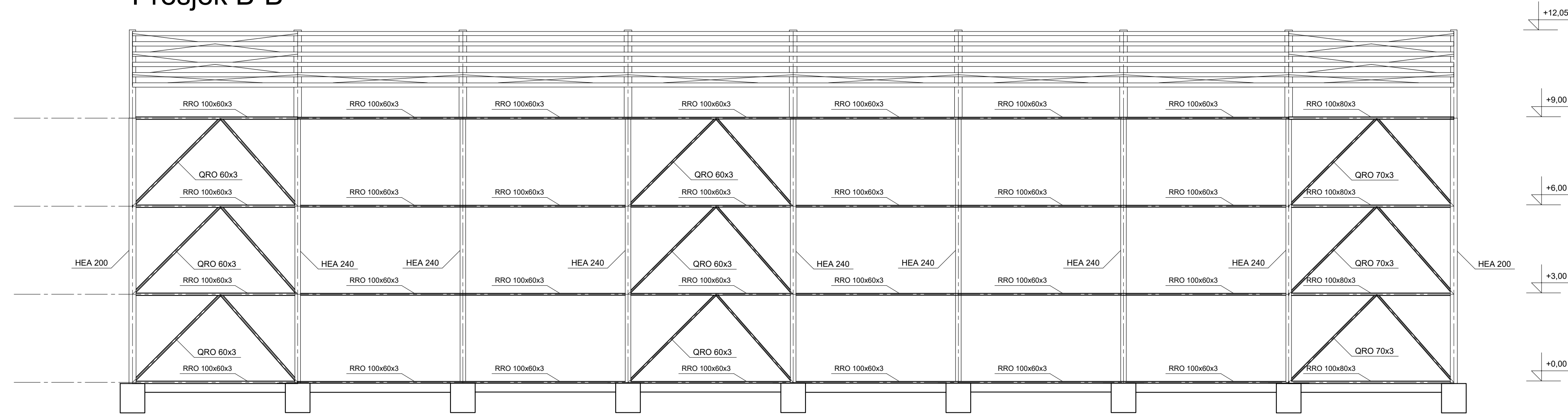
1. Dispozicija M1:100
2. Zabatno pročelje M1:100

# Dispozicija hale

## M 1:100



Presjek B-B

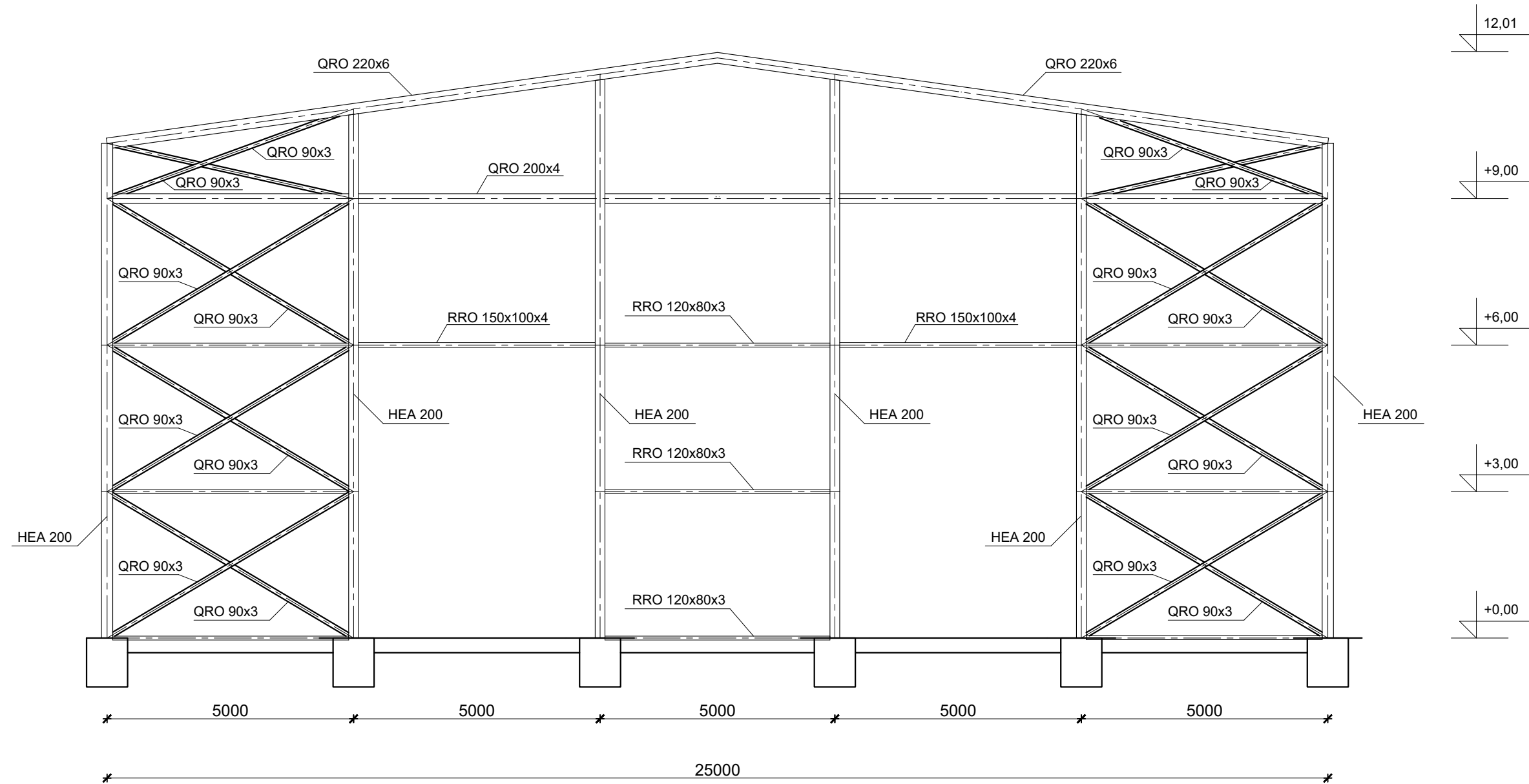


<b>Sveučilište Sjever</b> Stručni studij graditeljstva	
Nacrt:	DISPOZICIJA
Kolegij:	Metalne i drvene konstrukcije
Crtao:	Sanja Slavin
Datum:	srpanj 2024.



# Zabatno pročelje

## M 1:100



Sveučilište Sjever	
Stručni studij graditeljstva	
Nacrt:	ZABATNO PROČELJE
Kolegij:	Metalne i drvene konstrukcije
Crtao:	Sanja Slavin
Datum:	srpanj 2024.

Sveučilište  
SjeverSVEUČILIŠTE  
SIEVER

## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, \_\_\_\_\_ Sanja Slavin \_\_\_\_\_ (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/~~diplomskog~~/~~specijalističkog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Statički proračun čelične konstrukcije hale računalnim programom "Dlupal" (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(*upisati ime i prezime*)

Slavin Sanja  
(*vlastoručni potpis*)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.