

# PROJEKTIRANJE PROIZVODNE HALE

---

**Bobek, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:008001>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Strojарstva*

Nikola Bobek

**Projektiranje proizvodne hale**

**Production hall design**

Završni rad

Karlovac, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

*STROJARSKI ODJEL*  
*Stručni studij Strojарstva*

Nikola Bobek

**Projektiranje proizvodne hale**

**Production hall design**

Završni rad

Nikola Šimunić, mag.ing.mech

Karlovac, 2021.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru mag. ing. mech. Nikoli Šimuniću na iskazanom povjerenju, vodstvu i korisnim diskusijama tijekom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem se svim ostalim profesorima sa strojarstva na suradnji, ugodnom boravku i stečenim znanjima.

Na kraju bih se zahvalio svojoj obitelji na strpljenju i moralnoj podršci, te povjerenju koje su mi ukazali tijekom studija.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:  
602-11/\_\_\_-01/\_\_\_

Ur.broj:  
2133-61-04-\_\_\_-01

Datum:

## ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime	Nikola Bobek		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0110616006		
JMBAG	0248059822		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	Stručni studij strojarstva		
Godina upisa	2016		
Datum podnošenja molbe	07.07.2021		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: Projektiranje proizvodne hale

Naslov teme na engleskom: Production hall design

Opis zadatka:

U završnom radu potrebno je ukratko opisati vrste i namjenu proizvodnih hala. U radu je potrebno izvršiti projektiranje proizvodne hale dimenzija 36 x 24 m, maksimalne visine sljemena 10m. Hala je smještena na području grada Zaboka. Namjena hale je za skladišni prostor. Potrebno je opisati opterećenja na konstrukciju uslijed djelovanja vjetra, snijega, temperature i nominalnog opterećenja same konstrukcije. Analizirati čvrstoću konstrukcije u skladu sa EUROCODE normom. Prikazati konstrukciju u obliku sklopnog crteža. Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu Veleučilišta u Karlovcu.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	V
POPIS OZNAKA.....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. Uvod .....	1
1.1 Općenito o industrijskim halama .....	1
1.2 Materijali .....	1
1.3. Namjena industrijskih hala .....	2
1.4 Tipovi .....	3
1.5 Prednosti i nedostaci .....	4
2. OPIS KONSTRUKCIJE .....	5
2.1. Tehnički opis.....	5
2.2 Namjena konstrukcije.....	5
2.3 Antikorozivna zaštita .....	5
3.PRORAČUN MEHANIČKE OTPORNOSTI I STABILNOSTI .....	7
3.1 Analiza opterećenja .....	7
3.2 Stalno opterećenje .....	8
3.3 Stalno opterećenje .....	9
3.4 Opterećenje snijegom .....	10
3.5 Opterećenje vjetrom .....	11
3.5.1 Vertikalne stijene.....	12
3.5.2 Dvostrešno krovšte.....	13
3.6 Temperaturno opterećenje.....	17
4. KOMBINACIJE I OZNAKE DJELOVANJA.....	19
5. KONTROLA DEFORMACIJA KONSTRUKCIJE (GSU) .....	22
6. DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA.....	24
6.1 Dimenzioniranje spoja stupa i glavnog i glavnog krovnog nosača .....	24
9. OPIS GOTOVOG PROIZVODA .....	33
10. ZAKLJUČAK.....	34
PRILOZI .....	35

LITERATURA..... 36

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Čelični profili [1] .....	1
Slika 2. Poliuretanski paneli [2] .....	2
Slika 3. Prikaz jednobrodne hale [3] .....	3
Slika 4. Prikaz dvobrodne hale [3] .....	3
Slika 5. Prikaz višebrodne hale [3].....	4
Slika 6. Prikaz dimenzija proizvodne hale .....	6
Slika 7. Prikaz plošnih "Cladding" elemenata.....	7
Slika 8. DL1-Opterećenje konstrukcije .....	8
Slika 9. Prikaz djelovanja opterećenih panela i instalacija .....	9
Slika 10. Prikaz djelovanja opterećenja snijega .....	10
Slika 11. Prikaz djelovanja vjetra na vertikalne površine na konstrukciji .....	12
Slika 12. Prikaz djelovanja vjetra na krovne plohe na konstrukciji .....	13
Slika 13. Prikaz opterećenja vjetra na konstrukciju u osi X.....	14
Slika 14. Prikaz opterećenja vjetra na konstrukciju u osi Y.....	14
Slika 15. Prikaz djelovanja opterećenja unutarnjeg tlaka .....	15
Slika 16. Prikaz djelovanja opterećenja unutarnjeg podtlaka .....	16
Slika 17. Prikaz djelovanja Temperature + .....	18
Slika 18. Prikaz djelovanja Temperature - .....	18
Slika 19. Prikaz maksimalnog vertikalnog pomaka konstrukcije .....	22
Slika 20. Prikaz maksimalnog horizontalnog pomaka konstrukcije .....	23
Slika 21. Prikaz spoja stupa i glavnog nosača.....	24
Slika 22. Prikaz spoja stupa i temelja.....	28
Slika 23. Prikaz reakcija u osloncima .....	31
Slika 24. Prikaz usvojenih čeličnih profila.....	32
Slika 25. Prikaz montiranih čeličnih profila.....	33



## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Oznake djelovanja .....	19
Tablica 2. Popis kombinacije djelovanja.....	19

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

<b>BROJ CRTEŽA</b>	<b>Naziv iz sastavnice</b>
1800.00.00	Proizvodna hala

## POPIS OZNAKA

OZNAKA	JEDINICA	OPIS
$S$	$\text{kN/m}^2$	Opterećenje snijegom
$\mu_i$		Koeficijent oblika krova
$C_e$		Koeficijent izloženosti
$C_t$		Temperaturni koeficijent
$v_b$	$\text{m/s}$	Brzina vjetra
$C_{dir}$		Koeficijent smjera vjetra
$W_e$	$\text{kN/m}^2$	Površinsko opterećenje
$C_{pe}$		Vanjski koeficijent pritiska
$C_{pi}$		Unutarnji koeficijent pritiska
$C_{e(z)}$		Koeficijent izloženosti terena
$\rho$	$\text{kg/m}^3$	Gustoća zraka
$L$	$\text{m}$	Ukupna duljina
$h$	$\text{mm}$	visina
$b$	$\text{mm}$	širina
$t_w$	$\text{mm}$	Debljina pojasnice
$t_f$	$\text{mm}$	Debljina hrta
$t$	$\text{mm}$	debljina
$A_w$	$\text{mm}$	Zavar hrta
$A_f$	$\text{mm}$	Zavar pojasnice
$a_s$	$\text{mm}$	Zavar ukrućenja
$a_{fd}$	$\text{mm}$	Horizontalni zavar
$e_i$	$\text{mm}$	Vodoravni razmak
$p_i$	$\text{mm}$	Okomiti razmak
$f_{yb}$	$\text{MPa}$	Granica tečenja materijala sidra
$f_{ub}$	$\text{MPa}$	Vlačna čvrstoća materijala sidra
$A_s$	$\text{mm}^2$	Učinkovita površina presjeka vijka
$A_v$	$\text{mm}^2$	Površina presjeka vijak

## **SAŽETAK**

Zadatak završnog rada je izraditi projekt dvobrodne proizvodne hale od čeličnih elemenata. Raspon hale je  $2 \times 18\text{m}$ , a dužina 24m. Okviri se nalaze na međusobnom razmaku od 8m. Lokacija objekta je u gradu Zaboku. Proizvodna hala će bito pokrivena sa poliuretanskim panelima debljine: krov – 100mm, zidovi – 80 mm. Hala je projektirana za potrebe skladištenja.

Proračun elemenata na mehaničku otpornost i stabilnost izvesti će se u programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017.

Vizualizacija proizvodne hale te prikaz karakterističnih detalja izvest će se u programu Autodesk Inventor 2018.

Ključne riječi: projektiranje, proizvodna hala, čelični profili, Autodesk Inventor

## **SUMMARY**

The task of the final assignment is to create a two-sided production hall of steel elements. The range of the hall is  $2 \times 18\text{m}$  and length is  $24\text{m}$ . The frames are located at a distance of  $8\text{m}$ . The location of the object is in the city of Zabok. The production hall will be covered with polyurethane panels. Thickness of panels will be: roof -  $100\text{mm}$ , walls -  $80\text{mm}$ .

Calculation of elements for mechanical resistance and stability will be performed in „Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017“ program.

Visualization of the production hall and display of typical details will be provided in „Autodesk Inventor 2018“ program.

Keywords: projecting , Production hall, steel profiles, Autodesk Inventor

## 1. Uvod

### 1.1 Općenito o industrijskim halama

Industrijske hale su višenamjenski, prizemni zatvoreni ili poluotvoreni prostori, za proizvodne ili skladišne potrebe. Proizvodne hale su među najvažnijim zgradama u industrijskoj gradnji. Proizvodna hala obuhvaća proizvodne linije i strojeve, kao i urede i skladišni prostor. Hale u kojima se proizvodi roba grade se prvenstveno s ciljem proračuna. Mogu se razmotriti mnoge metode gradnje.

### 1.2 Materijali

Nosiva konstrukcija hala izvodi se od armiranog betona, od čelika i aluminija, ili od drva, a za ispunu se mogu upotrijebiti različiti građevinski materijali, već prema tehnološko-ekonomskim i klimatskim uvjetima.

Moguće su, osim toga, kombinacije građe nosivih elemenata (npr. betonski stupovi i čelični krovni nosači).

Čelik je najpogodniji materijal za izgradnju noseće konstrukcije, jer ga odlikuje funkcionalna prednost u odnosu na sve druge vrste materijala. Visoka mehanička svojstva čelične konstrukcije omogućavaju izgradnju konstrukcija velikih raspona i visina.

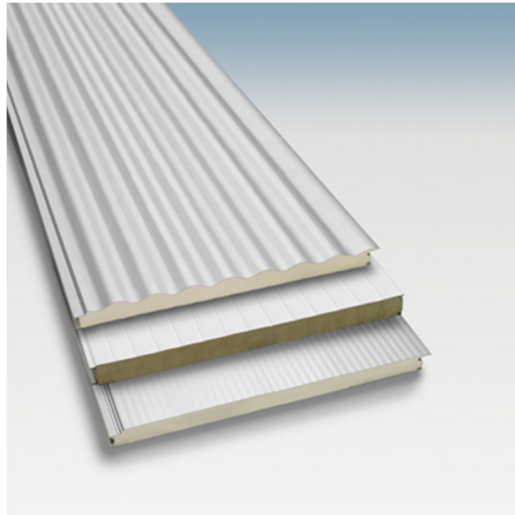
Čelična konstrukcija hale je složen prostorni sistem, formiran od niza nosećih elemenata i sklopova.



Slika 1. Čelični profili [1]

**Poliuretanski paneli** – služe za izolaciju i obloge industrijskih objekata.

Poliuretanski paneli (sendvič-paneli) s dvostrukim čeličnim slojem i termoizolacijskom jezgrom od uvijek su idealni kao krovne i zidne obloge za industrijske i komercijalne objekte (poliuretanska ili mineralna vuna).



**Slika 2. Poliuretanski paneli [2]**

### **1.3. Namjena industrijskih hala**

Služe za potrebe industrijske proizvodnje, uskladištenje materijala, opreme i prometnih sredstava.

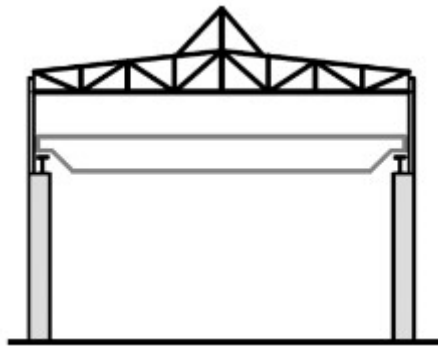
Često se zahtijeva mogućnost premještanja objekta na drugu lokaciju i upotrebe za druge namjene.

## 1.4 Tipovi

Hale mogu biti:

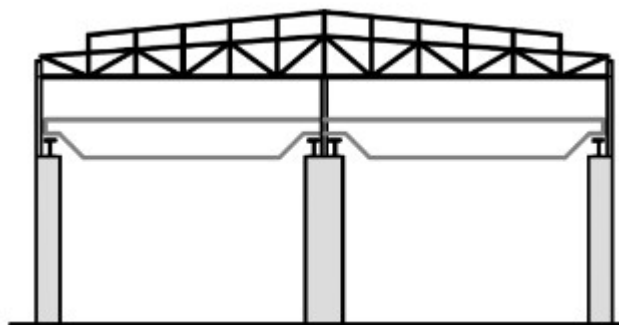
- jednobrodne
- višebrodne

Jednobrodne hale su najrasprostranjenije zato što su najjednostavnije za izgradnju, a namjenjene su uglavnom za sportske dvorane, industrijske pogone, kao i za privremene objekte.



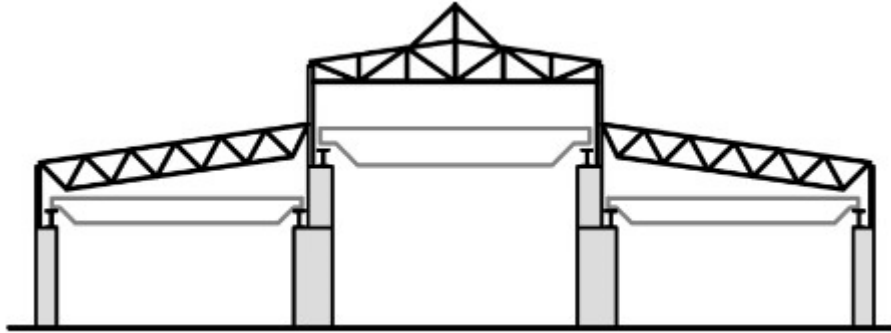
Slika 3. Prikaz jednobrodne hale [3]

Višebrodne hale koje se nazivaju još i okvirne i lučne konstrukcije, grade se za velike raspone. Brod u ovom slučaju predstavlja parcijalni dio hale formiran nizom parova paralelnih stupova koji mogu biti postavljeni uzdužno ili poprečno.



Slika 4. Prikaz dvobrodne hale [3]





Slika 5. Prikaz višebrodne hale [3]

Tri osnovne kategorije hala su one koje su projektirane za određenu namjenu, one koje su unaprijed projektirane i standardne, tipizirane hale.

### 1.5 Prednosti i nedostaci

Prednosti i nedostaci čeličnih konstrukcija u odnosu na druge izvedbe poput betonskih hala.

Prednosti:

- brzina izgradnje
- brzo i efikasno projektovanje hale
- lako prilagođavanje skoro svim vrstama podloge
- moderniji izgled
- lakše nadograđivanje
- kvaliteta i dugotrajnost
- visoka mehanička svojstva

Nedostaci:

- Korozivnost
- Niska razina otpornosti na požar

## **2. OPIS KONSTRUKCIJE**

### **2.1. Tehnički opis**

Tlocrtne dimenzije konstrukcije su 36x24m. Raspon dvostrešnog krovišta iznosi 36m s nagibom 5°. Visina konstrukcije u strehi iznosi 8m a u sljemenu 10m.

Međusobni razmak glavnih stupova iznosi 8m, između dva glavna nosača dodaje se jedan sekundarni. Zabatni zid izvodi se od profila HEA 180, S235

Horizontalna poprečna i uzdužna stabilizacija riješena je vlačno-tlačnom stabilizacijom  $\phi 20\text{mm}$ , S235

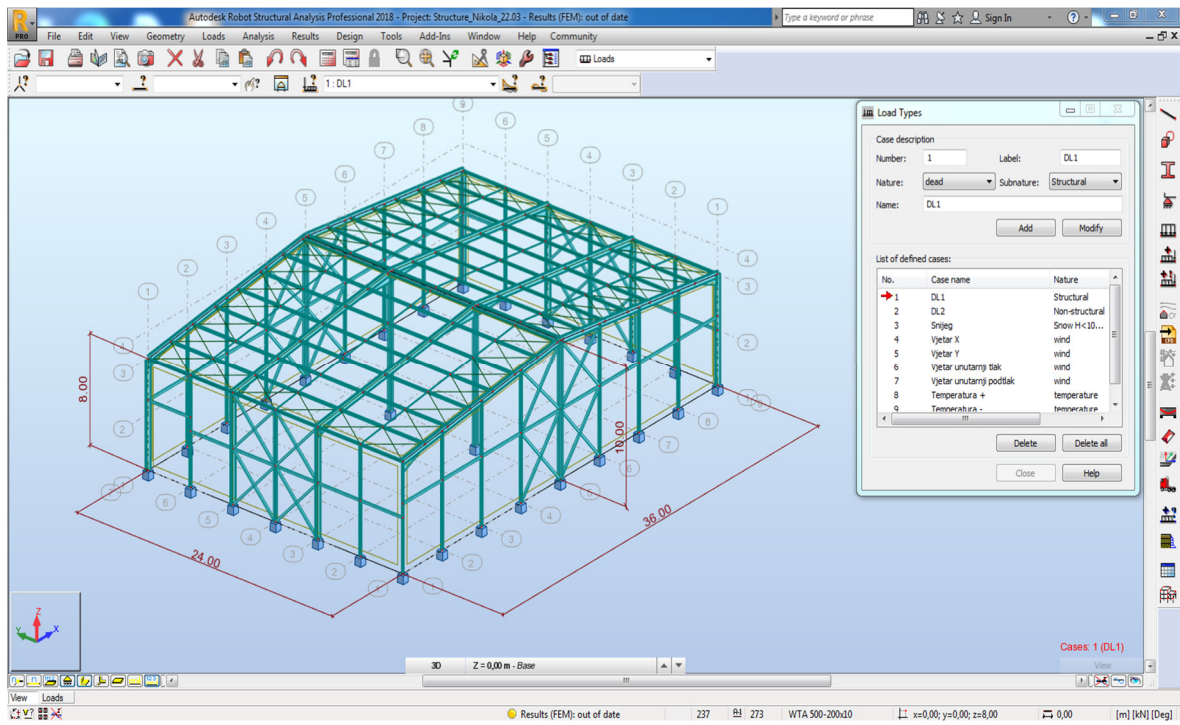
### **2.2 Namjena konstrukcije**

Hala je namjenjena za skladištenje proizvoda.

Zahtjevi kupca bile su tlocrtne dimenzije 36x24m i potrebna visina slobodnog prostora od 8m.

### **2.3 Antikorozivna zaštita**

Kao vrsta zaštite od korozije odabrana je zaštita pocinčavanjem. Ukupna debljina zaštitnog sloja usvaja se 200  $\mu\text{m}$ . Svi dijelovi konstrukcije se također premazuju i završnim slojem premaza. Nakon završene izvedbe svakog sloja potrebno je provjeriti debljinu i prionjivost namaza

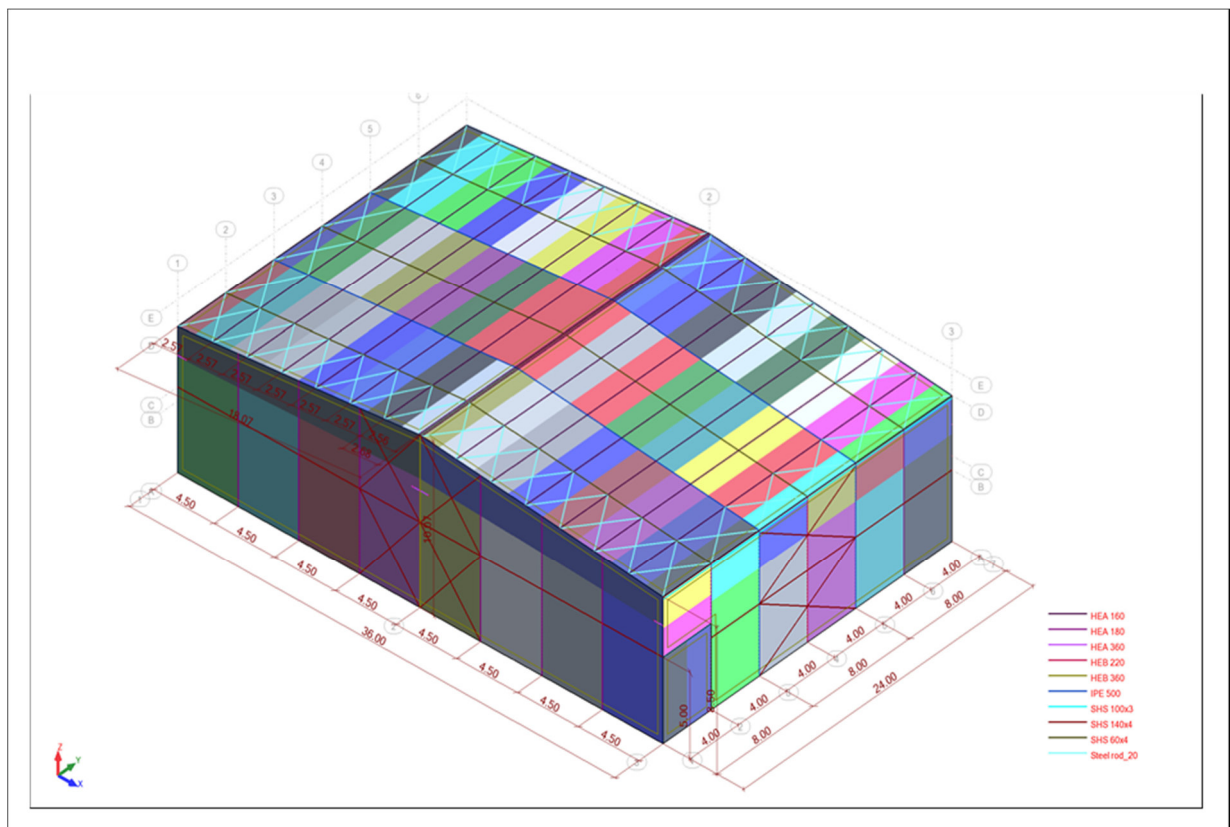


Slika 6. Prikaz dimenzija proizvodne hale

### 3.PRORAČUN MEHANIČKE OTPORNOSTI I STABILNOSTI

#### 3.1 Analiza opterećenja

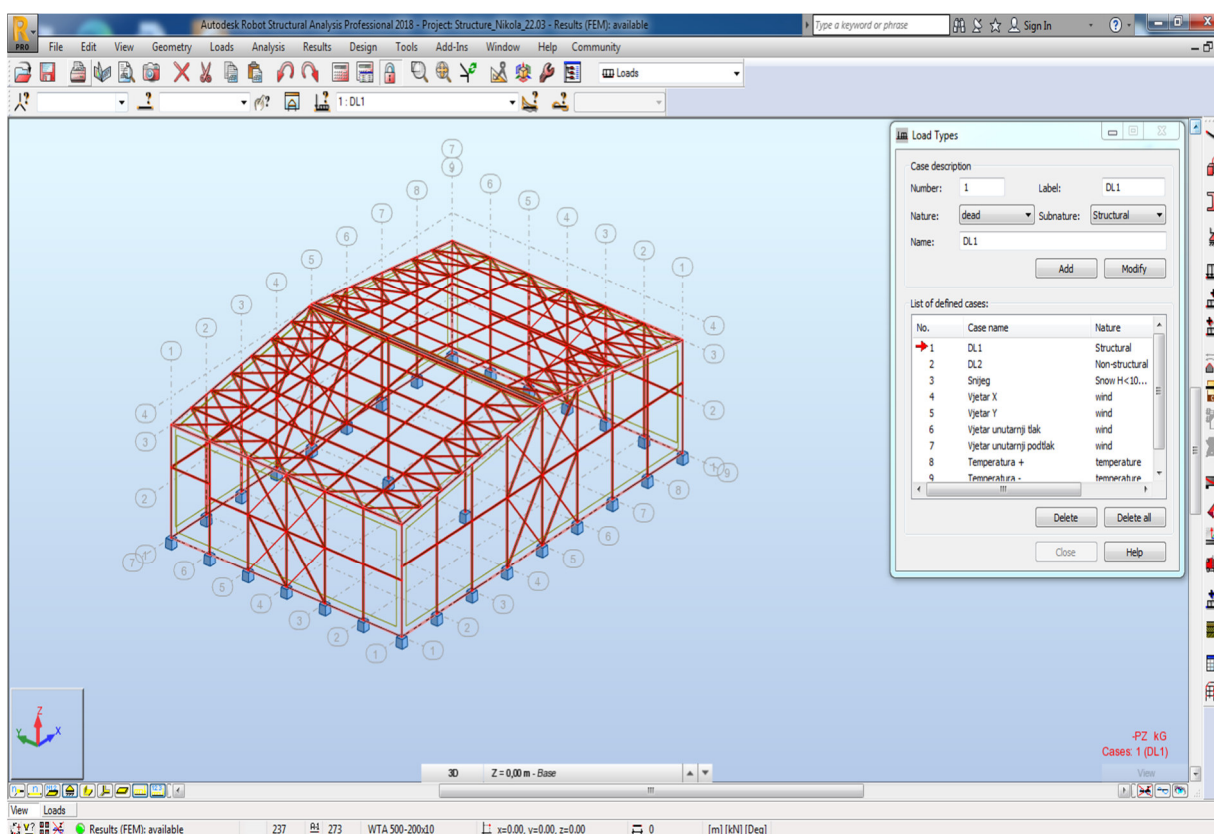
Sva opterećenja na konstrukciju su zadana preko plošnih „cladding“ elemenata koji površinsko opterećenje konvergiraju u linijsko na nosive elemente konstrukcije, kao što je prikazano na shemi.



Slika 7. Prikaz plošnih "Cladding" elemenata

## 3.2 Stalno opterećenje

DL1- predstavlja opterećenje same konstrukcije, odnosno svih profila od čega je ona sastavljena (stupovi, nosači...)



Slika 8. DL1-Opterećenje konstrukcije

### 3.3 Stalno opterećenje

**DL2-** opterećenje svih panela i instalacije.

**Krov:** - poliuretanski panel

$$t = 100 \text{ mm } (14,12 \text{ kg/m}^2) = 0,14 \text{ kN/ m}^2$$

- instalacije

$$10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/ m}^2$$

$$\Sigma = 0,241 \text{ kN/m}^2$$

t = debljina panela

**Zid:** - poliuretanski panel

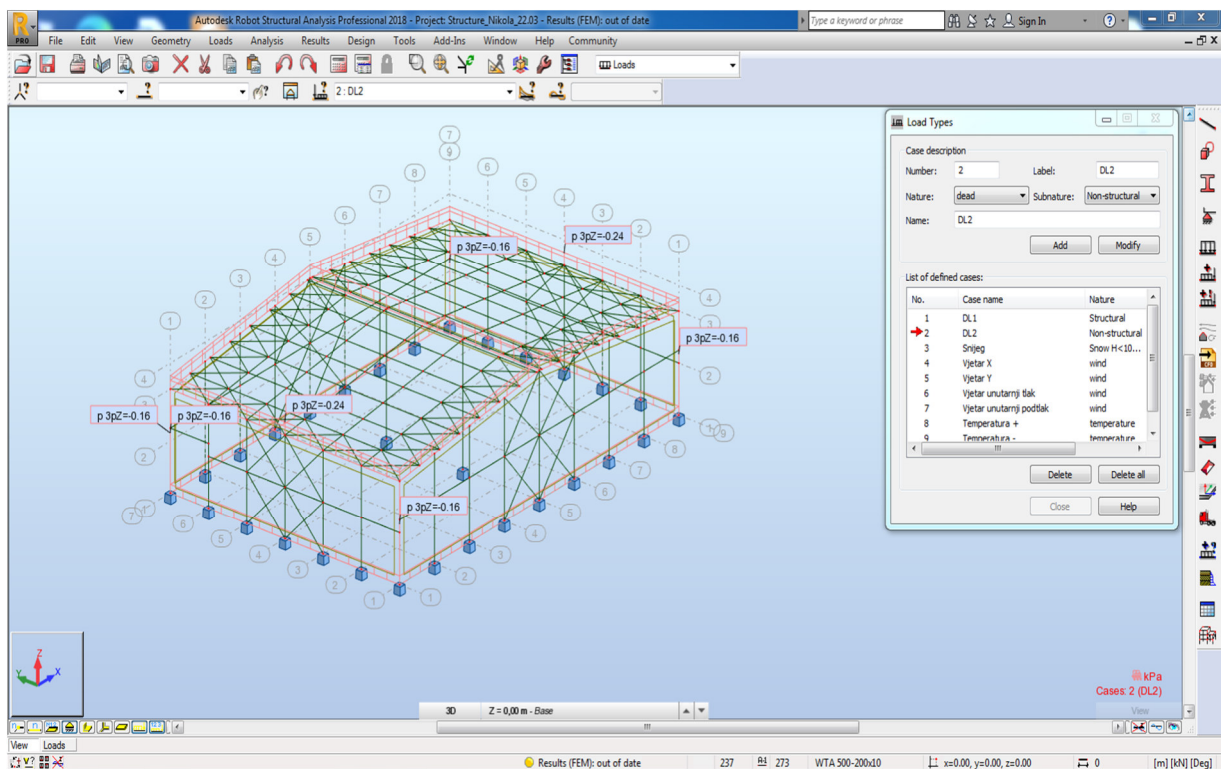
$$t = 80 \text{ mm } (10,87 \text{ kg/m}^2) = 0,11 \text{ kN/ m}^2$$

- instalacije

$$5 \text{ kg/m}^2 = 0,05 \text{ kN/ m}^2$$

$$\Sigma = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

t = debljina panela



Slika 9. Prikaz djelovanja opterećenih panela i instalacija

### 3.4 Opterećenje snijegom

Nadmorska visina:  $a_s = 151$  m.n.m

Zona: III (na karti snježnih područja Republike Hrvatske)

Nagib krova na građevini je  $5^\circ$

Karakteristično opterećenje snijegom  $S_k = 1,25$  kN/m<sup>2</sup>

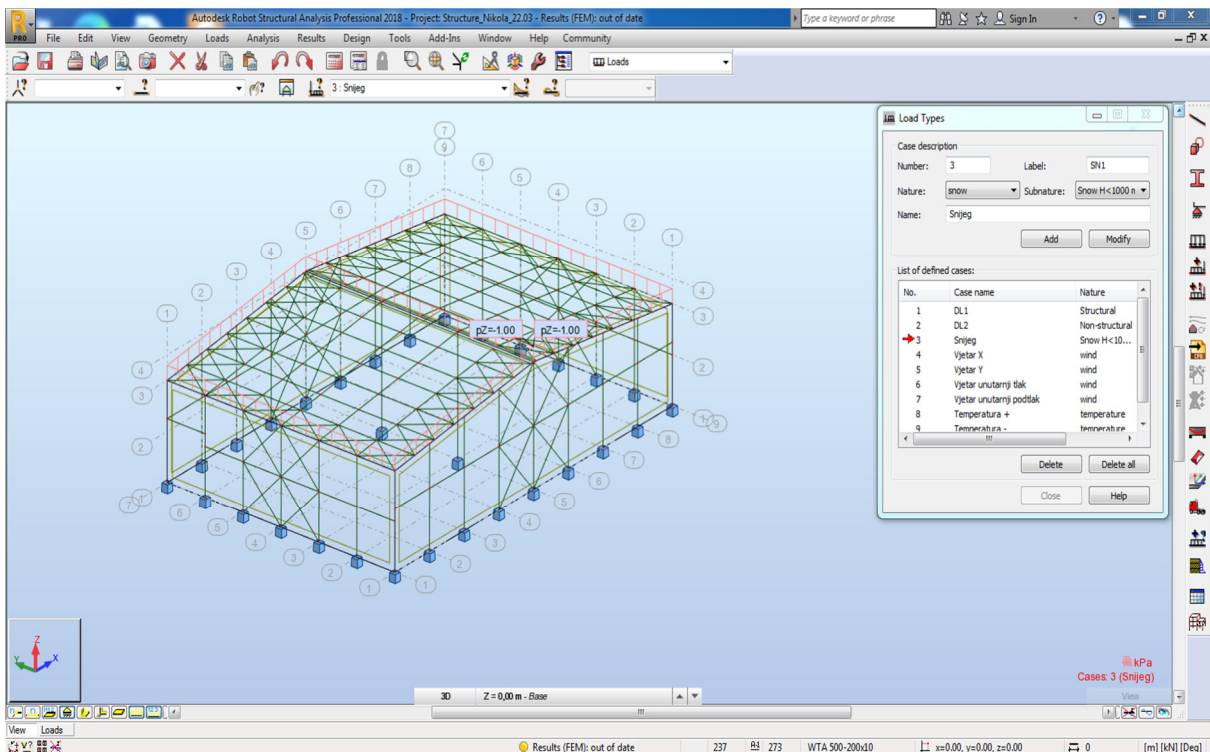
$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (1)$$

$C_e = 1$  (koeficijent izloženosti)

$C_t = 1$  (temperaturni koeficijent)

- dvostrešni krov  $\rightarrow \mu_i (\alpha_1) = 0,8$

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



Slika 10. Prikaz djelovanja opterećenja snijega

### 3.5 Opterećenje vjetrom

- osnovna brzina vjetra  $W = 20$  m/s
- osnovni tlak izazvan brzinom vjetra:

$$q_b = 12 \cdot \rho \cdot V_b \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2)$$

$$q = \frac{1,25 \times 20^2}{2} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

gdje je:

$\rho$  = gustoća zraka

$V_b$  = brzina vjetra

- pritisak vjetra na vanjske površine:
- odabiremo kategoriju terena III – područje prekriveno jednolikom vegetacijom ili drugim preprekama čiji je međusobni razmak najviše 20 visina prepreka.

$$W_e = q_b \times C_e \times C_{pe} \quad (3)$$

gdje je:

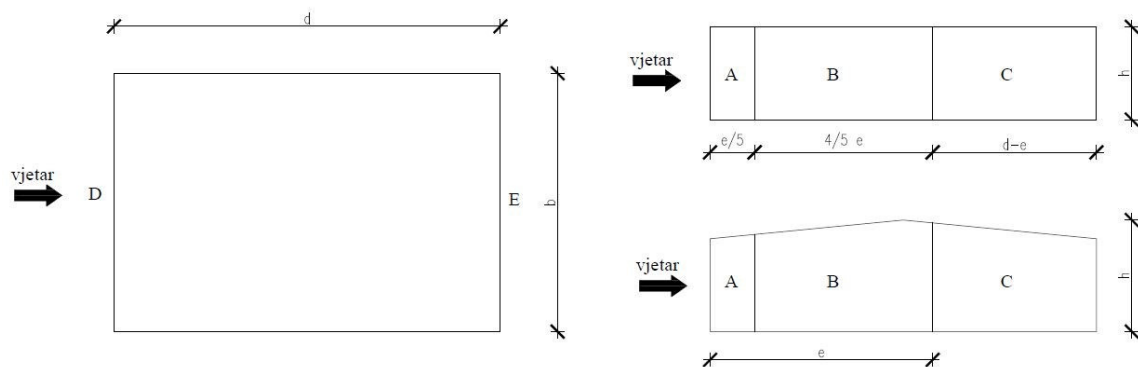
$q_b$  = pritisak brzine vjetra pri udaru

$C_{e(z)}$  = koeficijent izloženosti – usvojeno 1,75 (III.zona, 10m)

$C_{pe}$  = vanjski koeficijent pritiska



### 3.5.1 Vertikalne stijene



Slika 11. Prikaz djelovanja vjetra na vertikalne površine na konstrukciji

Proračun opterećenja za vertikalne stijene:

$$C_{pe} = -1,2 \quad W_{eA} = 0,25 \times 1,75 \times (-1,2) = -0,525 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -0,8 \quad W_{eB} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,8) = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

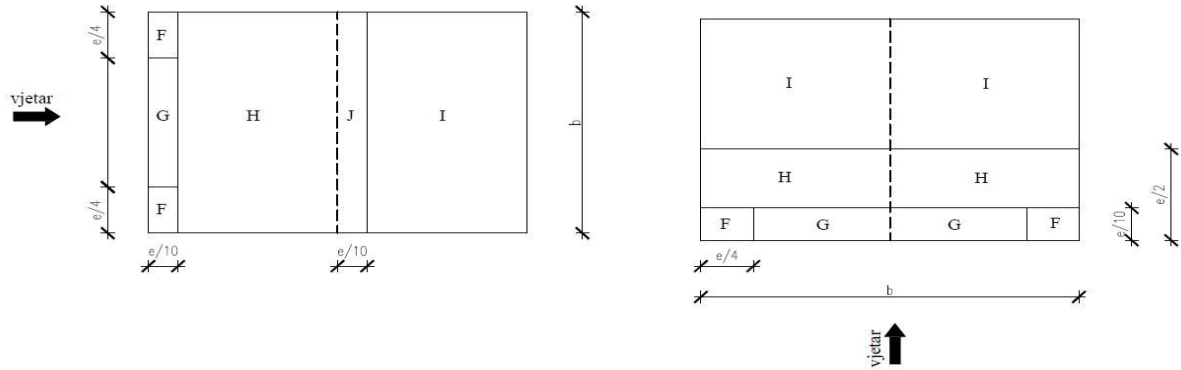
$$C_{pe} = -0,5 \quad W_{eC} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,5) = -0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = +0,7 \quad W_{eD} = 0,25 \times 1,75 \times 0,7 = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -0,3 \quad W_{eE} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,3) = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

Proračun opterećenja za vertikalne stijene računat je za svaku vertikalnu plohu kao što je prikazano na slici 11.

## 3.5.2 Dvostrešno krovništvo



Slika 12. Prikaz djelovanja vjetra na krovne plohe na konstrukciji

Proračun opterećenja za krovne plohe na konstrukciji :

$$C_{pe} = -1,7 \quad W_{eF} = 0,25 \times 1,75 \times (-1,7) = -0,74 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -1,2 \quad W_{eG} = 0,25 \times 1,75 \times (-1,2) = -0,525 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -0,6 \quad W_{eH} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,6) = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -0,3 \quad W_{eI} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,3) = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -0,3 \quad W_{eJ} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,3) = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

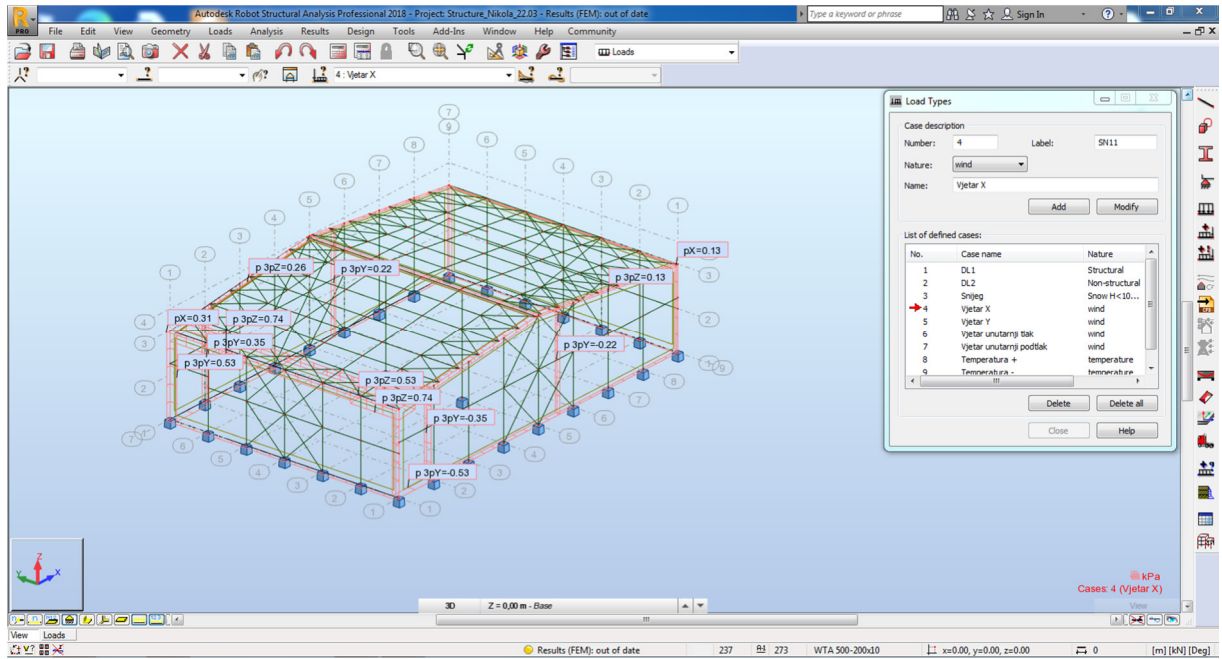
$$C_{pe} = -1,7 \quad W_{eF} = 0,25 \times 1,75 \times (-1,7) = -1,74 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -1,2 \quad W_{eF} = 0,25 \times 1,75 \times (-1,2) = -0,525 \text{ kN/m}^2$$

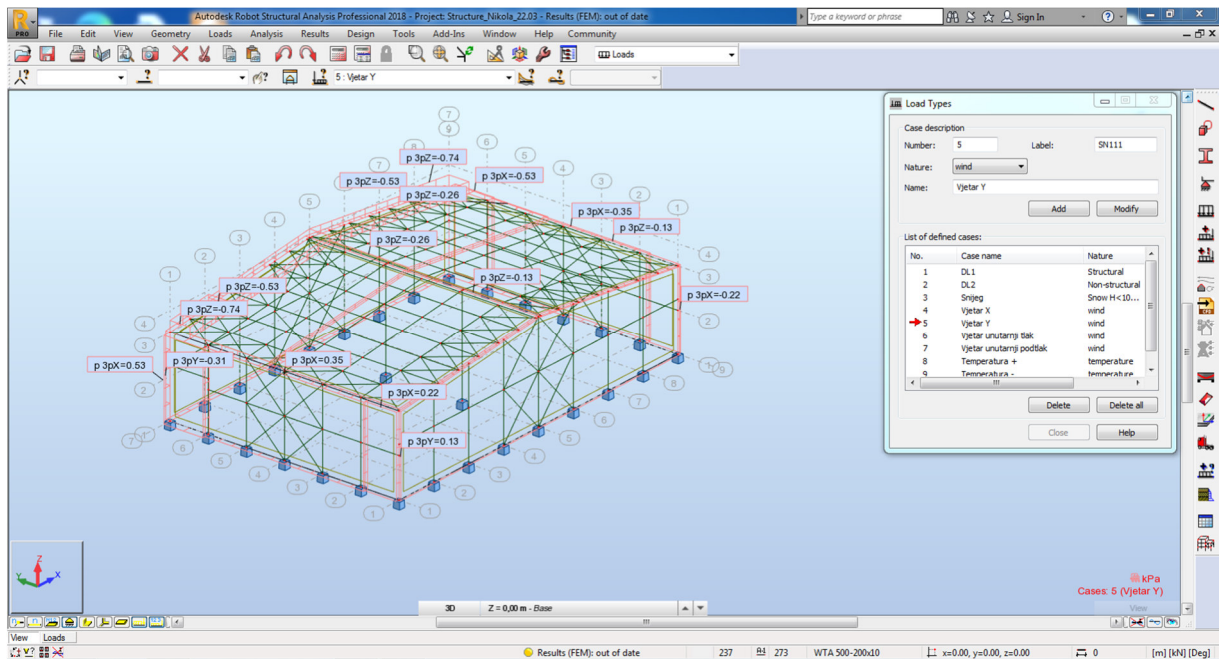
$$C_{pe} = -0,6 \quad W_{eF} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,6) = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe} = -0,3 \quad W_{eF} = 0,25 \times 1,75 \times (-0,3) = -0,13 \text{ kN/m}$$

Proračun opterećenja za krovne plohe računat je za svaku plohu prema slici 12.



Slika 13. Prikaz opterećenja vjetra na konstrukciju u osi X



Slika 14. Prikaz opterećenja vjetra na konstrukciju u osi Y

## Opterećenje vjetrom – unutarnji tlak

$$W = q_b \times C_{e(z)} \times C_{pi} \quad (4)$$

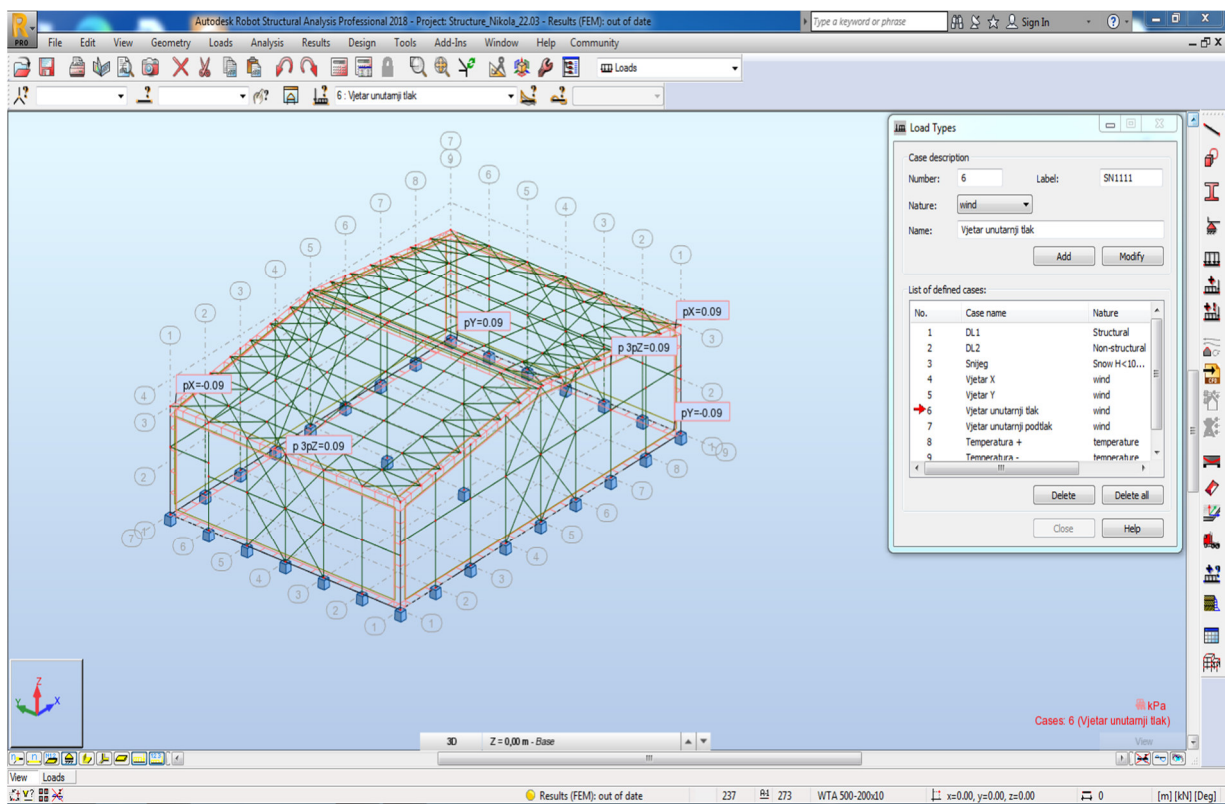
gdje je:

$q_b$  = pritisak brzine vjetra pri udaru

$C_{e(z)}$  = koeficijent izloženosti terena ( usvojeno 1,75 )

$C_{pi}$  = unutarnji koeficijent pritiska (usvojeno 0,2 )

$$W = 0,25 \times 1,75 \times 0,2 = 0,0875 \text{ kN/m}^2$$



Slika 15. Prikaz djelovanja opterećenja unutarnjeg tlaka

Opterećenje vjetrom – unutarnji podtlak

$$W = q_b \times C_{e(z)} \times C_{pi} \quad (5)$$

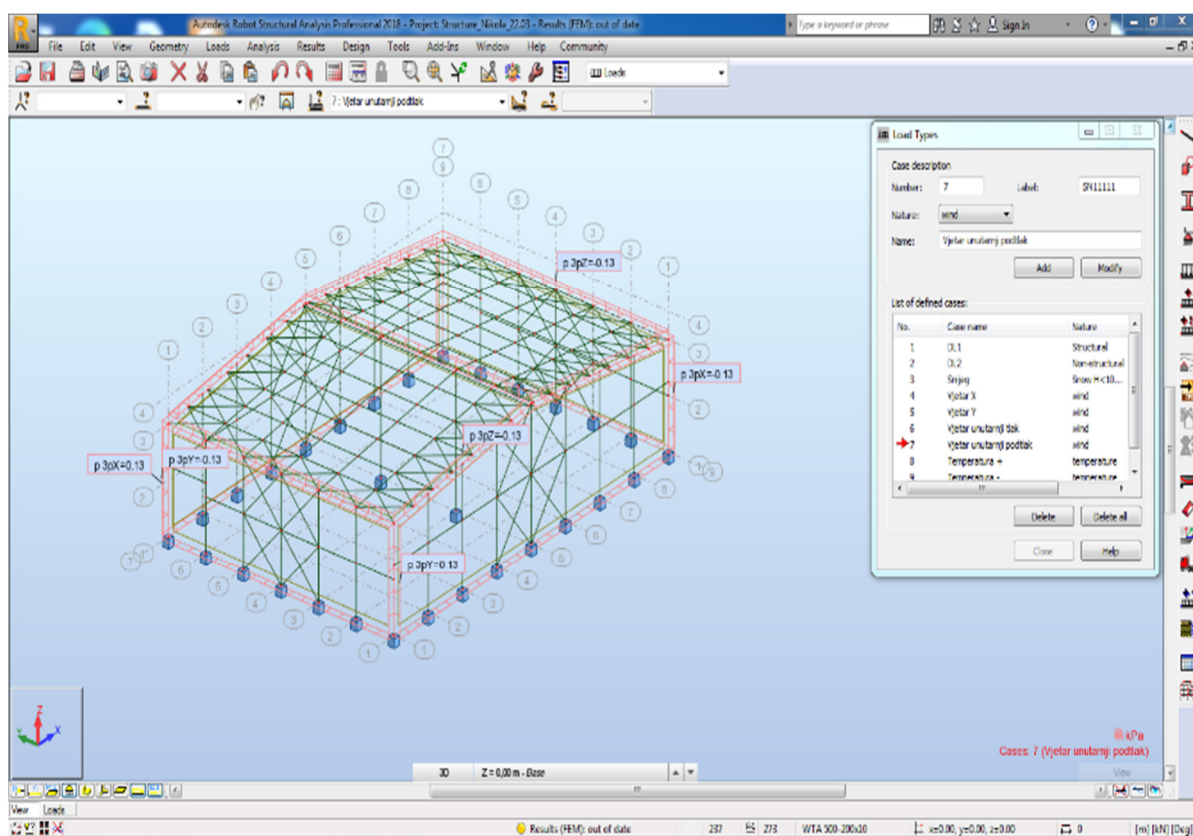
gdje je:

$q_b$  = pritisak brzine vjetra pri udaru

$C_{e(z)}$  = koeficijent izloženosti terena ( usvojeno 1,75 )

$C_{pi}$  = unutarnji koeficijent pritiska (usvojeno 0,2

$$W = 0,25 \times 1,75 \times (-0,3) = - 0,13 \text{ kN/m}^2$$



Slika 16. Prikaz djelovanja opterećenja unutarnjeg podtlaka

### 3.6 Temperaturno opterećenje

$$- T = - 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$+ T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Promatrani objekt nalazi se u I. Području, gledano prema termičkom djelovanju na građevine :

Najviša temperatura u hladu:  $T_{\max} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$

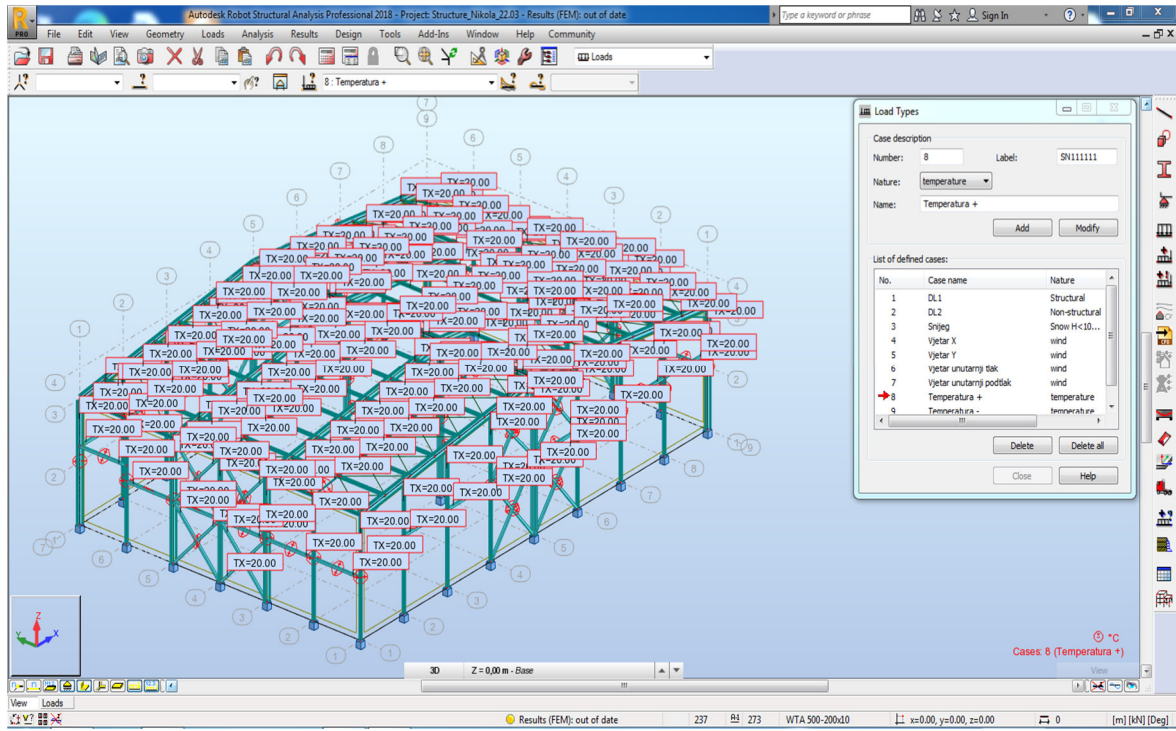
Najniža temperatura u hladu:  $T_{\min} = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pretpostavlja se djelovanje jednolike temperature promjene u svim presjecima. Pretpostavljena temperatura pri montaži konstrukcije  $T = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$

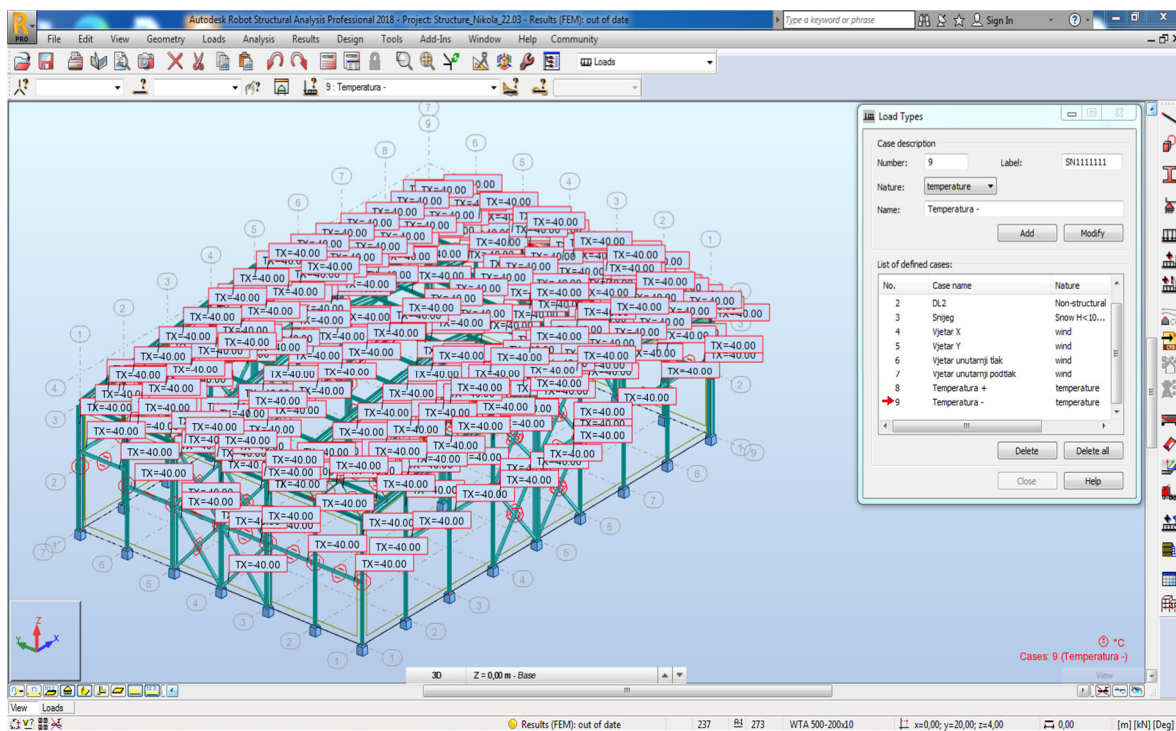
1) Maksimalna pozitivna temperaturna promjena:  $T_{\max} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} - 12 \text{ } ^\circ\text{C} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$

2) Maksimalna negativna temperaturna promjena:  $T_{\min} = -10 \text{ } ^\circ\text{C} - 12 \text{ } ^\circ\text{C} = -22 \text{ } ^\circ\text{C}$





Slika 17. Prikaz djelovanja Temperatura +



Slika 18. Prikaz djelovanja Temperatura -

## 4. KOMBINACIJE I OZNAKE DJELOVANJA

**Tablica 1. Oznake djelovanja**

Oznake opterećenja:	
1	Vlastita težina DL1
2	Dodatno stalno DL2
3	Snijeg
4	Vjetar smjer x
5	Vjetar smjer y
6	Tlak
7	Podtlak
8	Temperatura +
9	Temperatura -

Kombinacije:

**Tablica 2. Popis kombinacije djelovanja**

10	$ULS/1=2*1.35 + 1*1.35$
11	$ULS/2=2*1.35 + 1*1.35 + 4*1.50 + 3*0.75$
12	$ULS/3=2*1.35 + 1*1.35 + 4*1.50$
13	$ULS/4=2*1.35 + 1*1.35 + 5*1.50 + 3*0.75$
14	$ULS/5=2*1.35 + 1*1.35 + 5*1.50$
15	$ULS/6=2*1.35 + 1*1.35 + 6*1.50 + 3*0.75$
16	$ULS/7=2*1.35 + 1*1.35 + 6*1.50$
17	$ULS/8=2*1.35 + 1*1.35 + 6*1.50 + 4*1.50 + 3*0.75$
18	$ULS/9=2*1.35 + 1*1.35 + 6*1.50 + 4*1.50$
19	$ULS/10=2*1.35 + 1*1.35 + 6*1.50 + 5*1.50 + 3*0.75$
20	$ULS/11=2*1.35 + 1*1.35 + 6*1.50 + 5*1.50$
21	$ULS/12=2*1.35 + 1*1.35 + 7*1.50 + 3*0.75$
22	$ULS/13=2*1.35 + 1*1.35 + 7*1.50$
23	$ULS/14=2*1.35 + 1*1.35 + 7*1.50 + 4*1.50 + 3*0.75$
24	$ULS/15=2*1.35 + 1*1.35 + 7*1.50 + 4*1.50$
25	$ULS/16=2*1.35 + 1*1.35 + 7*1.50 + 5*1.50 + 3*0.75$
26	$ULS/17=2*1.35 + 1*1.35 + 7*1.50 + 5*1.50$
27	$ULS/18=2*1.35 + 1*1.00$
28	$ULS/19=2*1.35 + 1*1.00 + 4*1.50 + 3*0.75$
29	$ULS/20=2*1.35 + 1*1.00 + 4*1.50$



30	$ULS/21=2*1.35 + 1*1.00 + 5*1.50 + 3*0.75$
31	$ULS/22=2*1.35 + 1*1.00 + 5*1.50$
32	$ULS/23=2*1.35 + 1*1.00 + 6*1.50 + 3*0.75$
33	$ULS/24=2*1.35 + 1*1.00 + 6*1.50$
34	$ULS/25=2*1.35 + 1*1.00 + 6*1.50 + 4*1.50 + 3*0.75$
35	$ULS/26=2*1.35 + 1*1.00 + 6*1.50 + 4*1.50$
36	$ULS/27=2*1.35 + 1*1.00 + 6*1.50 + 5*1.50 + 3*0.75$
37	$ULS/28=2*1.35 + 1*1.00 + 6*1.50 + 5*1.50$
38	$ULS/29=2*1.35 + 1*1.00 + 7*1.50 + 3*0.75$
39	$ULS/30=2*1.35 + 1*1.00 + 7*1.50$
40	$ULS/31=2*1.35 + 1*1.00 + 7*1.50 + 4*1.50 + 3*0.75$
41	$ULS/32=2*1.35 + 1*1.00 + 7*1.50 + 4*1.50$
42	$ULS/33=2*1.35 + 1*1.00 + 7*1.50 + 5*1.50 + 3*0.75$
43	$ULS/34=2*1.35 + 1*1.00 + 7*1.50 + 5*1.50$
44	$ULS/69=2*1.35 + 1*1.35 + 3*1.50$
45	$ULS/70=2*1.35 + 1*1.35 + 4*0.90 + 3*1.50$
46	$ULS/71=2*1.35 + 1*1.35 + 5*0.90 + 3*1.50$
47	$ULS/72=2*1.35 + 1*1.35 + 6*0.90 + 3*1.50$
48	$ULS/73=2*1.35 + 1*1.35 + 6*0.90 + 4*0.90 + 3*1.50$
49	$ULS/74=2*1.35 + 1*1.35 + 6*0.90 + 5*0.90 + 3*1.50$
50	$ULS/75=2*1.35 + 1*1.35 + 7*0.90 + 3*1.50$
51	$ULS/76=2*1.35 + 1*1.35 + 7*0.90 + 4*0.90 + 3*1.50$
52	$ULS/77=2*1.35 + 1*1.35 + 7*0.90 + 5*0.90 + 3*1.50$
53	$ULS/78=2*1.35 + 1*1.00 + 3*1.50$
54	$ULS/79=2*1.35 + 1*1.00 + 4*0.90 + 3*1.50$
55	$ULS/80=2*1.35 + 1*1.00 + 5*0.90 + 3*1.50$
56	$ULS/81=2*1.35 + 1*1.00 + 6*0.90 + 3*1.50$
57	$ULS/82=2*1.35 + 1*1.00 + 6*0.90 + 4*0.90 + 3*1.50$
58	$ULS/83=2*1.35 + 1*1.00 + 6*0.90 + 5*0.90 + 3*1.50$
59	$ULS/84=2*1.35 + 1*1.00 + 7*0.90 + 3*1.50$
60	$ULS/85=2*1.35 + 1*1.00 + 7*0.90 + 4*0.90 + 3*1.50$
61	$ULS/86=2*1.35 + 1*1.00 + 7*0.90 + 5*0.90 + 3*1.50$

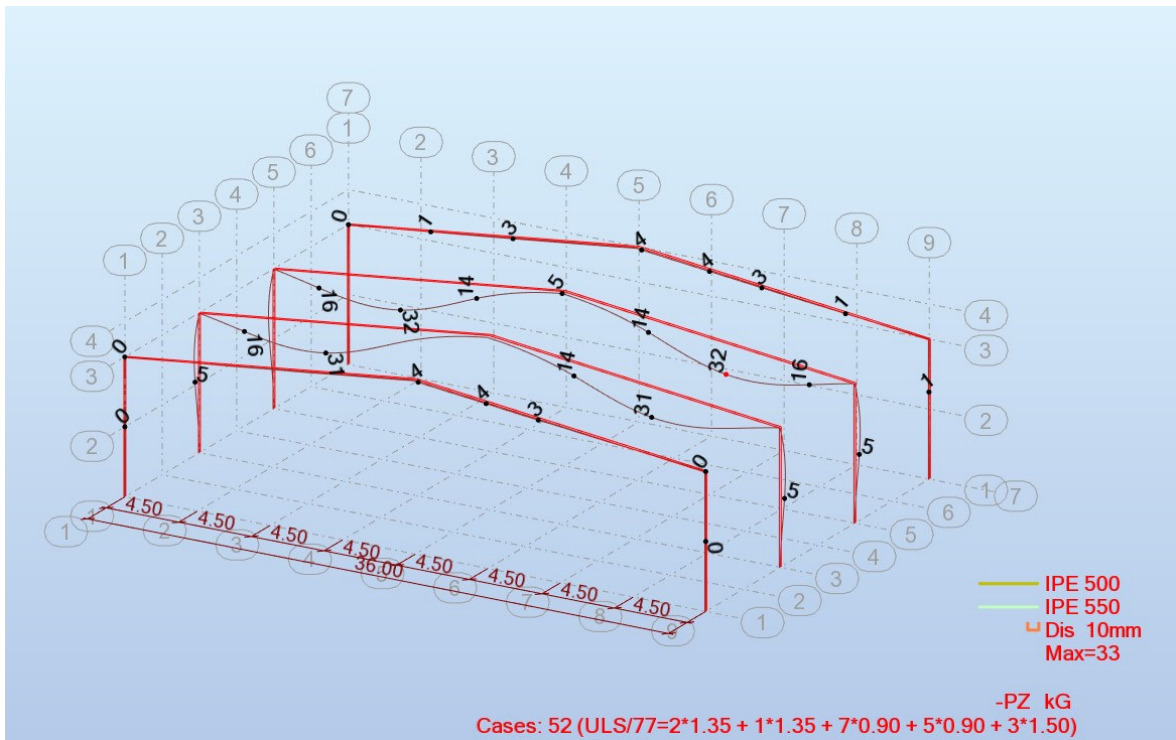
62	$SLS:CHR/1=2*1.00 + 1*1.00$
63	$SLS:CHR/2=2*1.00 + 1*1.00 + 4*1.00 + 3*0.50$
64	$SLS:CHR/3=2*1.00 + 1*1.00 + 4*1.00$
65	$SLS:CHR/4=2*1.00 + 1*1.00 + 5*1.00 + 3*0.50$
66	$SLS:CHR/5=2*1.00 + 1*1.00 + 5*1.00$
67	$SLS:CHR/6=2*1.00 + 1*1.00 + 6*1.00 + 3*0.50$
68	$SLS:CHR/7=2*1.00 + 1*1.00 + 6*1.00$
69	$SLS:CHR/8=2*1.00 + 1*1.00 + 6*1.00 + 4*1.00 + 3*0.50$
70	$SLS:CHR/9=2*1.00 + 1*1.00 + 6*1.00 + 4*1.00$
71	$SLS:CHR/10=2*1.00 + 1*1.00 + 6*1.00 + 5*1.00 + 3*0.50$
72	$SLS:CHR/11=2*1.00 + 1*1.00 + 6*1.00 + 5*1.00$
73	$SLS:CHR/12=2*1.00 + 1*1.00 + 7*1.00 + 3*0.50$
74	$SLS:CHR/13=2*1.00 + 1*1.00 + 7*1.00$
75	$SLS:CHR/14=2*1.00 + 1*1.00 + 7*1.00 + 4*1.00 + 3*0.50$
76	$SLS:CHR/15=2*1.00 + 1*1.00 + 7*1.00 + 4*1.00$
77	$SLS:CHR/16=2*1.00 + 1*1.00 + 7*1.00 + 5*1.00 + 3*0.50$
78	$SLS:CHR/17=2*1.00 + 1*1.00 + 7*1.00 + 5*1.00$
79	$SLS:CHR/18=2*1.00 + 1*1.00 + 3*1.00$
80	$SLS:CHR/19=2*1.00 + 1*1.00 + 4*0.60 + 3*1.00$
81	$SLS:CHR/20=2*1.00 + 1*1.00 + 5*0.60 + 3*1.00$
82	$SLS:CHR/21=2*1.00 + 1*1.00 + 6*0.60 + 3*1.00$
83	$SLS:CHR/22=2*1.00 + 1*1.00 + 6*0.60 + 4*0.60 + 3*1.00$
84	$SLS:CHR/23=2*1.00 + 1*1.00 + 6*0.60 + 5*0.60 + 3*1.00$
85	$SLS:CHR/24=2*1.00 + 1*1.00 + 7*0.60 + 3*1.00$
86	$SLS:CHR/25=2*1.00 + 1*1.00 + 7*0.60 + 4*0.60 + 3*1.00$
87	$SLS:CHR/26=2*1.00 + 1*1.00 + 7*0.60 + 5*0.60 + 3*1.00$

Kombinacije djelovanja izračunate su pomoću računalnog programa Autodesk Robot Structural.

## 5. KONTROLA DEFORMACIJA KONSTRUKCIJE (GSU)

Maksimalni vertikalni pomak konstrukcije (kombimacija 52)

$$(\text{ULS}/77=2*1.35 + 1*1.35 + 7*0.90 + 5*0.90 + 3*1.50)$$



Slika 19. Prikaz maksimalnog vertikalnog pomaka konstrukcije

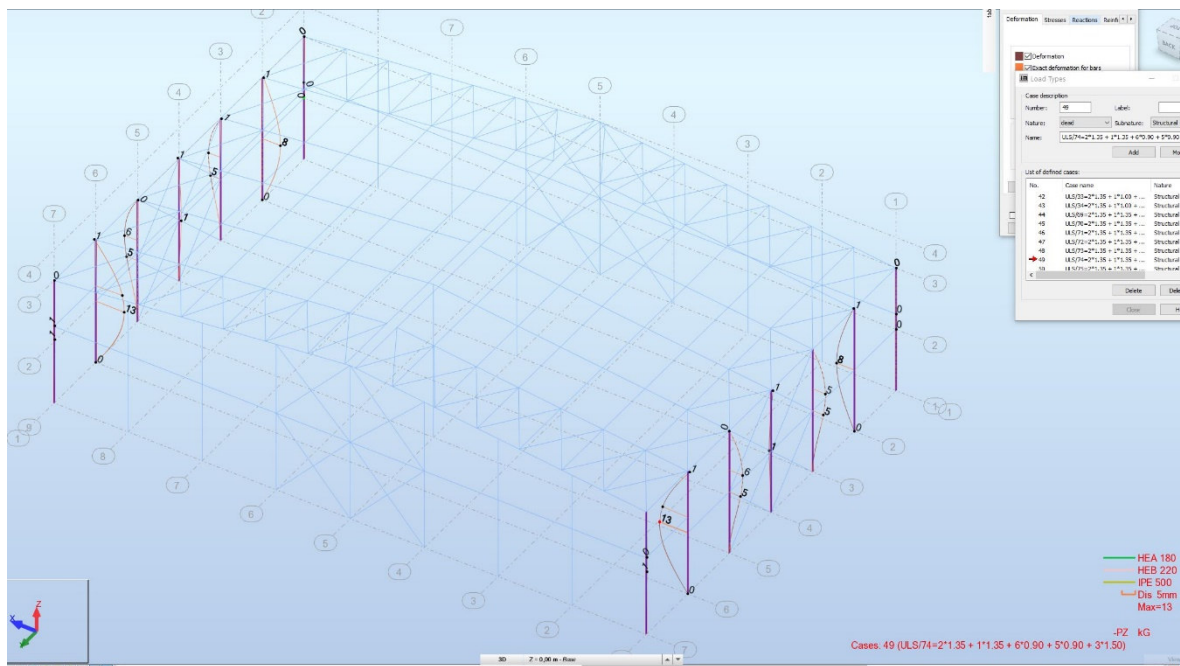
Dozvoljeni maksimalni vertikalni pomak konstrukcije  $L/250 \rightarrow 18000/250=72$  mm,

$$(\text{ULS}/77=2*1.35 + 1*1.35 + 7*0.90 + 5*0.90 + 3*1.50)=33$$

$72 > 33$  – **konstrukcija zadovoljava.**

## Maksimalni horizontalni progib konstrukcije (kombinacija 49)

$$(ULS/74=2*1.35+1*1.35+6*0.90+5*0.90+3*1.50)$$



Slika 20. Prikaz maksimalnog horizontalnog pomaka konstrukcije

Dozvoljeni maksimalni horizontalni pomak konstrukcije je  $H/400 \rightarrow 8500/400=21,25$  mm,

$$(ULS/74=2*1.35+1*1.35+6*0.90+5*0.90+3*1.50)=18,99$$

$21,25 > 19$  – **konstrukcija zadovoljava**

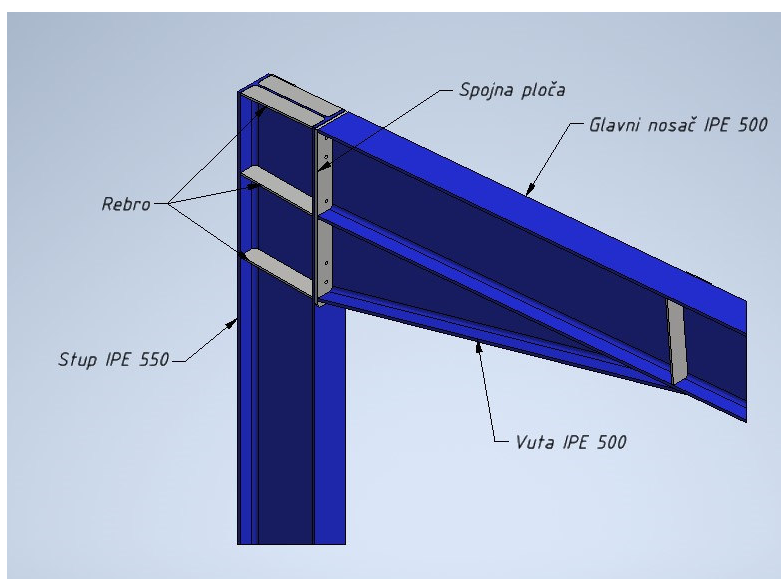
## 6. DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA

### 6.1 Dimenzioniranje spoja stupa i glavnog i glavnog krovnog nosača

Proračunom su odabrani stupovi IPE 550 ,ukupne duljine 8785mm. Odabrani stupovi zadovoljavaju pomake konstrukcije usljed djelovanja opterećenja.

Proračunom su odabrane grede valjanih I profila IPE 500 dužine 17635mm. Glavni nosači su dimenzionirani da prime utjecaj od vlastite težine konstrukcije, težine krovnih panela i opterećenja od snijega i vjetra.

Spoj grede i stupa ostvaruje se čeonom pločom dimenzija 1013/200/20(mm) zavarenom na kraj glavnog nosača i vijcima M16 k.v. 10.9 nosivim na vlak i odrez.



Slika 21. Prikaz spoja stupa i glavnog nosača

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

$M_{b1,Ed} = 280.47 \text{ kN}\cdot\text{m}$  – moment savijanja nosača

$V_{b1,Ed} = 139.49 \text{ kN}$  – smična sila nosača

$N_{b1,Ed} = -57.43 \text{ kN}$  – aksijalna sila nosača

$M_{c1,Ed} = -280.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$  – moment savijanja stupa

$V_{c1,Ed} = -55.66 \text{ kN}$  – smična sila stupa

$N_{c1,Ed} = -135.21 \text{ kN}$  – aksijalna sila stupa

#### Poprečni presjek stupa :

Profil: IPE 500

$h = 500 \text{ mm}$  (visina)

$b = 200 \text{ mm}$  (širina)

$t_w = 10 \text{ mm}$  (debljina pojasnice)

$t_f = 16 \text{ mm}$  (debljina hrta)

#### Poprečni presjek nosača:

Profil: IPE 550

$h = 550 \text{ [mm]}$  (visina)

$b = 210 \text{ [mm]}$  (širina)

$t_w = 11 \text{ [mm]}$  (debljina pojasnice)

$t_f = 17 \text{ [mm]}$  (debljina hrta)

Spojna ploča stupa i nosača :

$h = 1013$  [mm] (dužina)

$b = 200$  [mm] (širina)

$t = 20$  [mm] (debljina)

Površina hrpta grede i stupa koja ulazi u proračun:

$A_{vb} = 13442$  [mm<sup>2</sup>]

$A_{vc} = 13339$  [mm<sup>2</sup>]

**Sile u gredi :**

Proračun grede provodimo tako da pojas preuzima uzdužne sile, a hrbat poprečnu silu.

Savijanje na kontaktnoj površini s čeonom pločom ili spojenim elementom:

$M_{cb, Rd} = 2148,97$  [kN\*m] -Proračunski otpor presjeka za savijanje

**Tlak:**

$A_b = 13442$  [mm<sup>2</sup>] – površina pritiska

$N_{cb, Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$

$N_{cb, Rd} = 4771,77$  [kN] - Proračunska otpornost na tlak

**Smik:**

$A_{vb} = 13339$  [mm<sup>2</sup>] - Površina smicanja

$V_{cb, Rd} = 2733,98$  [kN] - Proračunski otpor presjeka za smicanje

$V_{b1, Ed} / V_{cb, Rd} \leq 1,0$  0,05 < 1,00 zadovoljava (0,05)

**Zavari:**

$a_w = 8$  [mm]- zavar hrpta

$a_f = 12$  [mm] - zavar pojasnice

$a_s = 8$  [mm] - zavar za ukrućenje

$a_{fd} = 5$  [mm] – horizontalni zavar

**Proračun vijaka:**

Odabrani vijci su M16 standarda DIN 6914.

$n_{vijka} = 6$

$d_{vijka} = 16$  [mm]- promjer vijaka

Klasa vijaka = 10,9

$n_h = 2$  - broj stupaca vijaka

$n_v = 5$  - broj redova vijaka

$h_1 = 70$  [mm] Udaljenost između prvog vijka i gornjeg ruba prednje ploče

Vodoravni razmak  $e_i = 90$  [mm]

Okomiti razmak  $p_i = 105; 250; 350; 105$  [mm]

**Otpornost vijaka na vlak:**

$F_{tRd} = 113,04$  [kN]

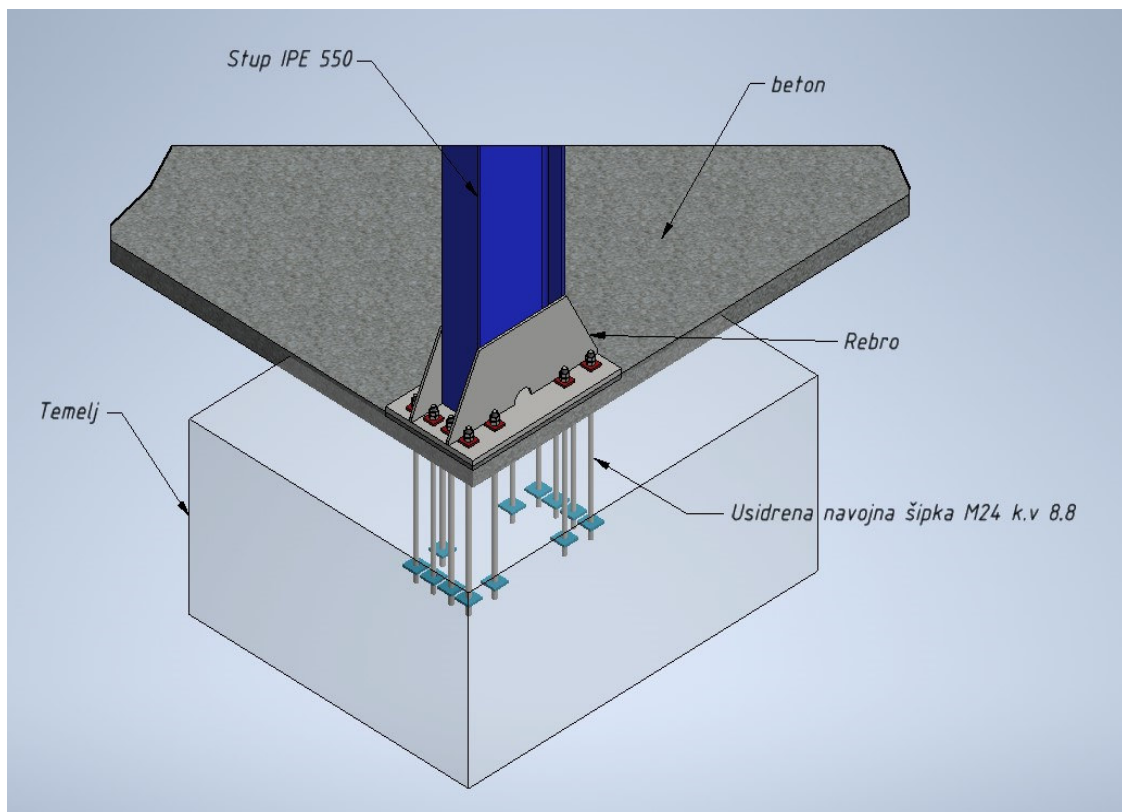


## 7. REAKCIJE U OSLONCIMA

### Spoj temelja i glavnog stupa

Spoj se izvodi podložnom pločom dimenzija 850/500/12mm navarenom na kraj stupa i pričvršćenom navojnim šipkama M24 k.v. 8.8 nosivim na vlak i odrez, te sidrenim u armirano–betonski temelj dimenzija 1600/2000/900. Između podložne ploče i armirano–betonskog temelja nalazi se podloga od betona.

Temelji su izrađeni od armiranog betona klase C25/30.



Slika 22. Prikaz spoja stupa i temelja

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

$N_{j, Ed} = 155,96$  [kN] - Aksijalna sila

$V_{j, Ed, y} = 7,45$  [kN] - Smična sila

$M_{j, Ed, y} = 121,05$  [kN\*m] - Moment savijanja

#### Poprečni presjek stupa:

Profil: IPE 500

$L_c = 8,00$  [m] - Duljina stupca

$h_c = 500$  [mm] - Visina presjeka stupa

$b_{fc} = 200$  [mm] - Širina presjeka stupa

$t_{wc} = 10$  [mm] - Debljina platna presjeka stupa

$t_{fc} = 16$  [mm] - Debljina prirubnice presjeka stupa

#### Pojasnice:

- Vlačna sila u pojasu od momenta savijanja

$$N_p^{*M} = \frac{M_{Ed}}{h_r} = \frac{121,05}{(0,5-0,016)} = 250,10 \text{ kN} \quad (6)$$

-tlačna sila u pojasu od uzdužne sile

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \times N_{sd} = \frac{50 \times 1,6}{116} \times 155,96 = 107,58 \text{ kN} \quad (6)$$

-Ukupna sila u vlačnoj pojasnici

$$N_p = N_p^{*M} + N_p^N = 250,10 + 107,58 = 142,52 \text{ kN} \quad (7)$$

**Kontrola vara na pojasnicama i hrptu**

-dužina vara pojasnice

$$l_1 = 2 \cdot b = 2 \cdot 200 = 400\text{mm}$$

-dužina vara hrpta

$$l_2 = 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 2 \cdot (500 - 2 \cdot 16) = 936\text{mm} \quad (9)$$

- maksimalna debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$A_{\max} = 0.7 \times t_{\min} = 0.7 \cdot 10 = 7\text{mm} \quad (10)$$

za pretpostavljeni var  $a=7.00\text{mm}$

**Proračun vijaka**

Za sidrenje sklopa zavora stupa i ploče pretpostavljene su navojne šipke M24 kvalitete 8.8.

Otpornost sidrenih vijaka na posmik:

$$F_{v, Rd, sm} = 36,43 \text{ [kN]}$$

Otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t, Rd} = \min (F_{t, Rd, s}, F_{t, Rd, p}, F_{t, Rd, c}, F_{t, Rd, sp})$$

$$F_{t, Rd} = 172,83 \text{ [kN]} \text{ Vlačni otpor sidra}$$

Otpornost sidrenih vijaka na nošenje pritiska osnovne ploče:

$$F_{1, vb, Rd, y} = 432,00 \text{ [kN]}$$

Sidrenje:

Klasa sidrenih vijaka = 8,8

$f_{yb} = 640,00$  [MPa] - Granica tečenja materijala sidra

$f_{ub} = 800,00$  [MPa] - Vlačna čvrstoća materijala sidra

$d_{vijaka} = 24$  [mm] - promjer vijka

$h_{vijaka} = 688$  [mm] – duljina vijka

$A_s = 353$  [mm<sup>2</sup>] - učinkovita površina presjeka vijka

$A_v = 452$  [mm<sup>2</sup>] - površina presjeka vijka

$n_H = 4$  - broj stupova vijaka

$n_V = 4$  - broj redova vijaka Vodoravni razmak

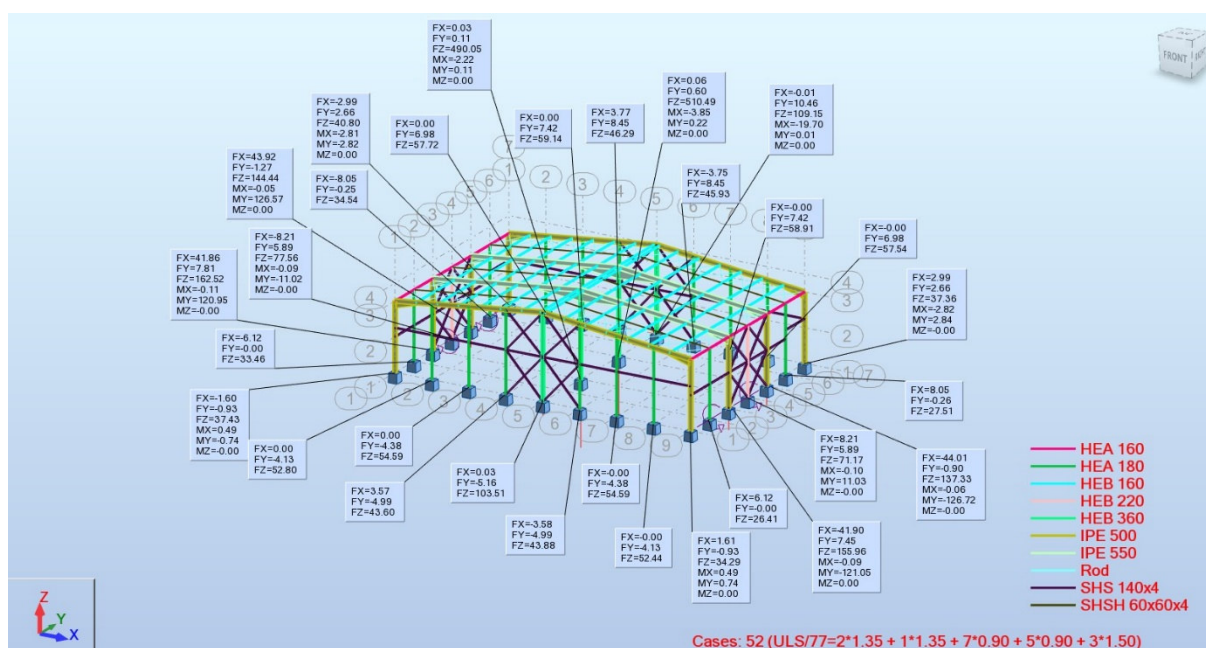
Temelj:

$L = 2000$  [mm] - Duljina raširenog temelja

$B = 1600$  [mm] - Širina osnove

$H = 900$  [mm] - visina

Beton - Klasa C25/30



Slika 23. Prikaz reakcija u osloncima

## 8. USVOJENI ČELIČNI PROFILI

### Glavni stupovi

Proračunom je odabran profil IPE 500 te je izvršen i dokaz nosivosti. Također, odabrani profil stupa zadovoljava i pomake konstrukcije uslijed djelovanja opterećenja, odnosno pomaci konstrukcije su manji od dopuštenih pomaka.

### Zabatni stupovi

Proračunom su odabrani I profili HEA 180.

### Glavni krovni nosač

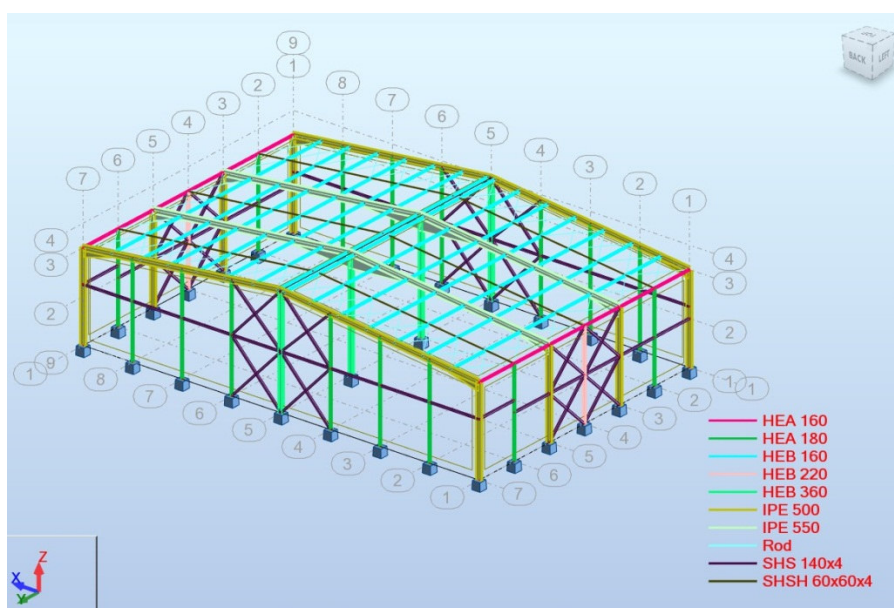
Proračunom su odabrane grede valjanih I profila IPE 500.

### Sekundarni krovni nosač (podrožnice)

Sekundarni nosači prenose opterećenje sa krovne plohe na primarne nosače (gornji pojas rešetke) za koje su vijcima vezani na simetričnom krovu nagiba 5 %. Odabrani su I profili HEB 160.

### Horizontalna vertikalna stabilizacija

Kao dijagonale krovnog sprega su odabrani okrugli puni profili promjera 20 (mm). Kao dijagonale bočnog sprega su odabrani kvadratne cijevi 140x140x4mm.



Slika 24. Prikaz usvojenih čeličnih profila

## 9. OPIS GOTOVOG PROIZVODA

Na zahtjev kupca projektirana je skladišna hala namjenjena za skladištenje proizvoda koji se koriste u autoindustriji. Na temelju zadanih podataka, potrebno je bilo dimenzionirati čeličnu konstrukciju raspona  $2 \times 18\text{m}$  i dužine  $24\text{m}$ . Okviri se nalaze na međusobnom razmaku od  $8\text{m}$ . Lokacija objekta je u gradu Zaboku. Proizvodna hala će biti pokrivena sa poliuretanskim panelima debljine: krov –  $100\text{mm}$ , zidovi –  $80\text{ mm}$ . Materijal čeličnih profila je S355JR. Antikorozivna zaštita je vruće cinčanje svih čeličnih profila i nakon toga završni premaz. Svi spojevi se montiraju na gradilištu. Prilikom montaže potrebna je dizalica nosivost do  $5\text{t}$ . Planirana montaža ove konstrukcije je cca. Tjedan dana.

Proračun elemenata na mehaničku otpornost i stabilnost izveden se u programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017, a vizualizacija hale te prikaz karakterističnih detalja izveden je u programu Autodesk Inventor 2018.



Slika 25. Prikaz montiranih čeličnih profila

## 10. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu obrađena ukratko su objašnjene vrste i namjene proizvodnih hala, te je napravljen projekt proizvodne hale namjenjene za skладиštenje proizvoda. Primjenjivana su stečena znanja sa nastave i iskustvo tijekom prakse.

Prema ulaznim podacima potrebno je bilo projektirati proizvodnu halu potrebnih dimenzija 36 x24m, maksimalne visine u sljemenu 10m. Hala se nalazi na području grada Zaboka. Proračun opterećenja konstrukcije uslijed jelo vanja vjetra, snijega, temperature i nominalnog opterećenja same konstrukcije izveden je u programu Autodesk Robot Structural. Vizualizacija te 3D model napravljeni su u programu Inventor Autodesk. Dimenzioniranje svih spojeva također je izvedeno pomoću programa Autodesk Robot Structural. Materijal od čega je čelična konstrukcija izrađena je S355JR. Zahtjevana je i fasadna obloga za koju su korišteni poliuretanski (sendvič) paneli. Za krovnu oblogu koristili su se paneli debljine  $t=80\text{mm}$ , te zidni (vertikalni) debljine  $t=100\text{mm}$ . Antikoroziorna zaštita čeličnih profila, primjenjena je u obliku vrućeg cinčanja, te nakon toga je slijedio završni premaz prema želji kupca. Nakon završenog proračuna i definiranja svih bitnih informacija, krenulo se u izradu 3D modela. Nakon završneog 3D modeliranja u programu i izrada svih pojedinačnih i sklopnih nacrti za radionicu, započeta je nabava materijala. Uz sve materijale profila potrebnih za izradu svih pozicija potrebno je bilo naručiti i sve pripadajuće stezne elemente (vijke, matice, podloške i navojne šipke za sidrenje). Potrebno vrijeme izrade svih pozicija sa završnom antikoroziivnom zaštitom je 6 tjedana. Predviđeno vrijeme montiranja na gradilištu je 7 dana. Na gradilištu su potrebne kranske dizalice za pomoć pri dizanju elemenata nosivosti do 5 tona. Ukupna težina cijele konstrukcije bez fasadne obloge je 52 tone.

Prije pristupanja radovima na montaži potrebno je predočiti odobreni projekt montaže. Prije isporuke iz radionice vrši se prijem konstrukcije u radionici uz pribavljenu kompletnu dokumentaciju o kvaliteti. Po završetku montaže čelične konstrukcije obavlja se završna kontrola o kvaliteti izrade i montaže od strane investitora i nadzornog inženjera.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



## LITERATURA

- [1]. <https://depositphotos.com>
- [2]. <http://www.lindab.com>
- [3]. <https://www.grad.unizg.hr>
- [4]. Pavković K; Baljkas B: „Projektiranje čeličnih konstrukcija“, Priručnik za kolegij metalne konstrukcije, Tehničko veleučilište u Zagrebu, 2014.
- [5]. Dujmić D; Androić B; Džeba I: „Modeliranje konstrukcije prema Eurocode 3“ Građevinski fakultet u zagrebu, Zagreb 2004. godine.
- [6]. Leko V: „Eurocode 3-1-8 Priručnik spojeva komentari s primjerima“ Ogranak Sajema, Slavonski Brod, 2012.
- [7]. Markulek D; Bajkovec I: „izvedba čeličnih konstrukcija prema europskim normama“ Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet, Osijek 2011.
- [8]. Internet stranica <http://www.staticstools.eu/en/profile-hea/HE500A/mm/show> - prikazuje karakteristike čeličnih profila
- [9]. <https://www.grad.unizg.hr>
- [10]. <http://www.lindab.com>